

Jarkko Tiiro

Espoon T3 –alueen asuin- ja palvelurakennusten energiankäyttö 2030

Sähkötekniikan korkeakoulu

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 28.3.2014

Työn valvoja:

Prof. Matti Lehtonen

Työn ohjaaja:

Prof. Matti Lehtonen

Tekijä: Jarkko Tiiri		
Työn nimi: Espoon T3 –alueen asuin- ja palvelurakennusten energiankäyttö 2030		
Päivämäärä: 28.3.2014	Kieli: Suomi	Sivumäärä: 172
Sähkötekniikan ja automaation laitos		
Professori: Sähköverkot ja suurjännitetekniikka		Koodi: S-18
Valvoja: Prof. Matti Lehtonen		
Ohjaaja: Prof. Matti Lehtonen		
<p>Rakennetun ympäristön energiatehokkuuden lisääminen on tärkeässä roolissa Euroopan Unionin ja Suomen ilmastotavoitteiden saavuttamisessa. Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen ja paikallisen uusiutuviin energialähteisiin perustuvan tuotannon integroiminen rakennuksiin sekä alueisiin ovat eräitä keinoja, joilla pyritään vähentämään rakennetun ympäristön energian loppukulutusta ja ostoenergian tarvetta. Hajautetun uusiutuviin energialähteisiin perustuvan tuotannon osuus alueiden energiantuotannossa kasvaa, mikä asettaa monia uusia haasteita alue- ja energiasuunnittelulle. Energiajärjestelmän kustannustehokkuus, päästövaikutukset ja kokonaiskapasiteetin tarve riippuvat merkittävästi siitä kuinka hyvin hajautettu tuotanto integroituu alueelliseen energiajärjestelmään.</p> <p>Tässä diplomityössä kartoitetaan Otaniemi – Keilaniemi - Tapiolan keskus –alueen (T3 –alue) asuin- ja palvelurakennusten energiankäyttöä sekä arvioidaan niissä tapahtuvia muutoksia tulevaisuudessa. Työssä selvitetään nykyinen sähkön- ja lämmönkäyttö sekä näiden ajallinen vaihtelu asuin- ja toimitilarakennuksissa. Skenaariotarkastelulla arvioidaan miten rakennuksiin kohdistetut energiatehokkuustoimet ja rakennuksiin integroitu hajautettu energiantuotanto vaikuttavat T3 –alueen rakennusten energiankäyttöön tulevaisuudessa. Skenaarioissa tarkastellaan lisäksi kuinka paljon paikallisesti tuotettu aurinkoenergia syrjäyttää ostolämpöä ja –sähköä uudisrakennuksissa tarkastelujaksolla.</p> <p>T3 -alueen asuin- ja palvelurakennusten nykyistä energian loppukäyttöä kartoitettiin sähkön ja kaukolämmön vuosienenergioiden sekä rakennuskantatietojen perusteella. Lämmön- ja sähkönkysyntöjen ajallista vaihtelua vuorokausitasolla eri vuodenaikoina tutkittiin tuntityyppikäyrien sekä tuntienenergiamittaustietojen avulla. Aurinkoenergian tuntikohtaista hyödyntämistä eri rakennusluokissa arvioitiin aurinkoenergian tuntituotantomallilla. T3 –alueen uudisrakennuskannan energiankäyttöä tarkasteltiin maankäyttösuunnitelmien kerrosalatietoihin, ominaiskulutuksiin ja eri kirjallisuuslähteisiin perustuvassa skenaariotarkastelussa.</p> <p>T3 –alueen maankäyttösuunnitelmien mahdollistaman uudisrakennuskannan energiatarve vuonna 2030 on vain muutamia prosentteja verrattuna olemassa olevan rakennuskannan nykyiseen energiantarpeeseen. Uudisrakennuksissa lämpimän käyttöveden valmistukseen tarvittavan energian suhteellinen osuus rakennuskannan lämmöntarpeesta kasvaa. Aurinkoenergialla syrjäytetyn ostosähkön ja –lämmön osuus vuonna 2030 on vielä suhteellisen pieni T3 –alueen rakennusten aurinkoenergiapotentiaaliin verrattuna. Toimitiloissa tapahtuu pääosa T3 –alueen sähkön loppukäytöstä ja etenkin toimitilojen kesäarkipäivien sähkökuormien leikkaamisessa aurinkosähköllä vaikuttaisi olevan hyvin merkittävä potentiaali. T3 –alueen nykyisen rakennuskannan energiansäästöpotentiaali osoittautui suuremmaksi kuin uudisrakennuskannasta aiheutuva energian loppukysyntä vuonna 2030. Löytämällä ratkaisuja olemassa olevan rakennuskannan energiatehokkuuden parantamiseen voitaneen tehokkaimmin alentaa T3 -alueen ostoenergiankulutusta vuoteen 2030 mennessä. Kiinteistökohtainen aurinkolämpötuotanto ja rakennuskohtainen jäteveden lämmön hyödyntäminen käyttöveden valmistuksessa voivat osoittautua kustannustehokkaiksi ratkaisuihin tavoiteltaessa rakennusten nettonollaenergiatasoa sekä myös olemassa olevien rakennusten ostoenergiankulutuksen vähentämisessä.</p>		
Avainsanat: Energiaskenaario, Ominaiskulutus, Espoo T3 –alue, Energiatehokkuus		

Author: Jarkko Tiiro		
Title: The energy use in residential and service buildings in Espoo T3 area in 2030		
Date: March 28, 2014	Language: Finnish	Number of Pages: 172
Department of Electrical Engineering and Automation		
Professorship: Power Systems and High Voltage Engineering		Code: S-18
Supervisor: Prof. Matti Lehtonen		
Instructor: Prof. Matti Lehtonen		
<p>In order to meet the climate goals set by the European Union and Government of Finland, improvements in the energy efficiency of the built environment are essential. Some of the means to decrease the final energy demand of the built environment are to enhance building envelopes and integrate local energy production in buildings and areas. The remarkable increase in local renewable energy production raises many new challenges for regional land use and energy planning. The cost effectiveness, emission levels, total capacity required of a mixed energy system depend on the success of the integration of a local production into the regional energy system.</p> <p>This thesis surveys the power and heat use in residential and service buildings located in the case area (Espoo T3). The timely variation of power and heat demands are analyzed in these building classes, as well as the future development in energy use and demands estimated. The main goal of the thesis is to create scenarios for the final energy use and demand for the case area by 2030. The scenarios examine the effects of local renewable energy production and energy efficiency measures on final energy use of the future building stock. During the observation period, an estimation was conducted of the amount of final electricity and heat superseded by local solar energy production.</p> <p>The current final energy usage in the case area was examined by utilizing annual electricity and district heat consumption data, in addition to, building stock information. Load profiles and hourly measured energy consumption data were used to analyse the seasonal and daily variation of power and heat demands. The potential of daily solar energy in different building classes was surveyed by means of a photovoltaic power generation model and load profiles. The input data for energy scenario calculations were: prospective floor area for residential and service buildings obtained from land use data; nominal consumption of electricity; and nominal consumption of heat in different building classes based on the current building code and other literature sources.</p> <p>By 2030, the final energy demand of a prospective new building stock in T3 area will account for only a few percent of the final energy demand of the current buildings. A major part of the final heat demand of prospective buildings consists of domestic water heating energy by 2030. The proportion of final power and heat demand superseded by local solar energy production is relatively low in comparison to solar energy potential of the area. The major part of the electricity used in the T3 area is consumed in service sector buildings. Thus, the solar energy potential seems to be significant especially in tertiary sector buildings, and particularly for their electric peak load shaving during summer week days. The energy saving potential of an existing building stock seemed to be greater than the final energy demand of new buildings by 2030. Solutions are needed to increase the energy efficiency of the existing building stock, in order to reduce the final energy demand of the T3 area by 2030. Harnessing building integrated solar heat production and In-House Waste Water Heat Recovery systems may prove to be cost effective solutions in the pursuit of net zero energy buildings and more energy efficient existing building stock.</p>		
Keywords: Energy scenario, Nominal consumption, Espoo T3, Energy efficiency		

Esipuhe

Tämä diplomityö on tehty Aalto-yliopiston Sähkötekniikan korkeakoulussa osana RYM Oy:n koordinoimaan Energizing Urban Ecosystems (EUE) –ohjelmaa. Kiitos EUE –ohjelman yhteistyökumppaneille erityisesti Aalto-korkeakoulusäätiölle, Espoon kaupungille, Fortum Oyj:lle ja Tekesille, joiden rahoitus on osaltaan mahdollistanut työn.

Erityisesti haluan kiittää työn valvojaa ja ohjaajaa professori Matti Lehtosta ammattitaitoisesta ohjauksesta ja työn tarkastamisesta. Kiitos myös Osmo Huhtalalle, Janne Sorsalle Fortum Electricity Solution and Distribution divisioonasta, Jaakko Luhtalalle, Juha Kivelle ja Pekka Joutsenvirrälle Fortum Heat divisioonasta sekä Antti Rousille, Ritva Helmiselle, Jenni Puustiselle ja Sanna Jaatiselle Espoon kaupunkisuunnittelukeskukselta tuesta, jota sain työhön liittyvissä energian- ja maankäyttöasioissa. Tohtorikoulutettava Merkebu Defega antoi arvokasta apua työn eri vaiheissa. Myös Anne Tiaiselta SRV Oyj:stä ja Claudio Donghi:lta KONE Oyj:stä sain rakentavia ehdotuksia työn sisältöä koskien. Lisäksi työtoverit erityisesti Toni ja Ünsal mainitakseni ovat olleet arvokkaita keskustelukumppaneita työprosessin eri vaiheissa.

Espoo 12.3.2014

Jarkko Tiiri

Sisällys

Tiivistelmä.....	2
Abstract	3
Esipuhe	4
Sisällys	5
Kuvat.....	8
Taulukot	10
Yksiköt, käsitteet ja lyhenteet.....	11
1 Johdanto.....	13
1.1 Työn tavoite ja rajaukset	14
1.2 Työn rakenne.....	15
1.3 RYM Oy ja Energizing Urban Ecosystems (EUE) –ohjelma.....	15
2 Asuin- ja palvelurakennusten energiankäyttö	16
2.1 Asuinrakennukset	17
2.1.1 Sähkönkäyttö	19
2.1.1 Ominaiskulutus	20
2.2 Palvelurakennukset	22
2.2.1 Palveluiden sähkönkäyttö.....	24
2.2.2 Ominaiskulutus	31
3 Rakennuskannan ostoenergiankulutus.....	33
3.1 Rakennuskannan muutokset	34
3.2 Matalaenergia ja passiivitalot	36
3.3 Ohjaustoimet	37
3.4 Nolla- ja lähes nollaenergiarakennukset	41
3.5 Paikallinen tuotanto	43
3.5.1 Aurinkosähkö.....	43
3.5.2 Aurinkolämpö	44
3.5.3 Pientuulivoima	46
3.5.4 Lämpöpumput	46
3.6 Energianhallintajärjestelmät	47
3.7 Rakennusten käyttö.....	48
3.8 Jäähdytystarve	49
3.9 Rakennuskohtainen jäteveden lämmön talteenotto ja käyttö.....	49
4 Lämpövarastot.....	51

4.1	Tuntuvanlämmön varastointi.....	51
4.1.1	Rakennusten terminen massa.....	54
4.2	Lämmön kausivarastot	55
4.2.1	Lämpövarastojen lämpöhäviöt.....	61
4.2.2	Kausivarastojen investointikustannukset.....	62
4.3	Latenttilämpövarastot	64
4.4	Pientalon aurinkolämmön kausivarasto	66
5	Espoon T3-alue	73
5.1	Väestö	75
5.2	Rakennuskanta.....	76
5.3	Maankäyttö.....	79
5.4	Espoon ilmastotavoitteet, energiansäästö ja uusiutuvien energialähteiden käytön edistäminen	80
6	T3 –Alueen energiankäyttö 2013 – 2030.....	81
6.1	Menetelmät.....	81
6.2	Skenaarioiden kuvaukset.....	85
6.3	Skenaarioiden yhteiset oletukset ja lähtötiedot.....	86
7	T3 –alueen energiankäytön nykytila.....	89
7.1	Sähköaineisto ja sähkön loppukäyttö 2012	89
7.1.1	Toimitilarakennukset.....	90
7.1.2	Asuinrakennukset.....	98
7.1.3	Toimitilat ja asuinrakennukset yhteensä.....	101
7.1.4	Muu sähkönkulutus	103
7.2	Kaukolämpöaineisto ja kaukolämmön loppukäyttö 2012	104
7.2.1	Toimitilarakennukset.....	106
7.2.2	Asuinrakennukset.....	113
7.2.3	Asuin- ja toimitilarakennukset yhteensä.....	116
7.2.4	Muu kaukolämmön loppukäyttö	118
8	T3 –alueen rakennusten energiankäyttö 2013 – 2030	119
8.1	Uudisrakennuskanta.....	119
8.1.1	Rakennuskohtainen aurinkoenergian tuotanto.....	123
8.2	Nykyinen rakennuskanta.....	125
8.3	Rakennusten energiankysyntä ja aurinkoenergian saatavuus	126
8.3.1	Vuorokautinen sähkön kysyntä ja aurinkoenergian saatavuus	126
8.3.2	Kaukolämmönkysyntä ja aurinkoenergian saatavuus vuorokausitasolla.....	130
8.4	Jäteveden lämmön hyödyntämisen energiansäästöpotentiaali.....	133

9 Yhteenveto ja johtopäätelmät.....	135
Lähteet.....	139
LIITE 1 Sähkön ominaiskulutuksia eri rakennusluokissa (MOTIVA)	145
LIITE 2 Lämmön ominaiskulutuksia eri rakennusluokissa (MOTIVA)	146
LIITE 3 Säiliölämpövaraston johtumislämpöhäviöiden laskeminen	147
LIITE 4 Espoon pienalueet ja rakennuskanta-aineiston aluerajaus (keltainen raja).....	149
LIITE 5 Espoon alueiden 211, 212, 213 JA 222 rakennusten kerrosalat polttoaineen mukaan	150
LIITE 6 Espoon alueiden 211, 212, 213 JA 222 toimitilarakennusten kerrosalat polttoaineen mukaan	151
LIITE 7 Espoo alueiden 211, 212, 213 JA 222 asuinrakennusten kerrosalat polttoaineen mukaan	152
LIITE 8 Sähköaineiston aluerajaus [76].....	153
LIITE 9 T3 –alueen toimitilarakennusten sähköenergiat 2012 (FORTUM)	154
LIITE 10 T3 –alueen asuinrakennusten sähköenergiat 2012 (FORTUM)	155
LIITE 11 T3 –alueen muiden kuin asuin- ja toimitilarakennusten sähköenergiat 2012 (FORTUM).....	156
LIITE 12 T3 –alueen sähköenergiat yhteensä 2012.....	157
LIITE 13 T3 –alueen toimitilarakennusten kaukolämpöenergiat 2012 (FORTUM)	158
LIITE 14 T3 –alueen asuinrakennusten kaukolämpöenergiat 2012 (FORTUM)	160
LIITE 15 T3 –alueen muiden kuin toimitilojen ja asuinrakennusten kaukolämpöenergiat 2012 (FORTUM).....	162
LIITE 16 T3 –alueen kaukolämpöenergiat 2012.....	163
LIITE 17 T3 –alueen kaukolämpöenergiat rakennusluokittain (FORTUM).....	164
LIITE 18 Sähkö- ja rakennuskanta-aineistojen määritetty vuoden 2012 sähkön ominaiskulutus T3 –alueen toimitilarakennuksissa.....	165
LIITE 19 Sähkö- ja rakennuskanta-aineistojen määritetty vuoden 2012 sähkön ominaiskulutus T3 –alueen asuinrakennuksissa.....	166
LIITE 20 Kaukolämpö- ja rakennuskanta-aineistojen määritetty vuoden 2012 kaukolämmön ominaiskulutus T3 –alueen toimitilarakennuksissa.....	167
LIITE 21 Kaukolämpö- ja rakennuskanta-aineistojen määritetty vuoden 2012 kaukolämmön ominaiskulutus T3 –alueen asuinrakennuksissa	168
LIITE 22 T3 –alueen vireillä olevien asemakaavojen mahdollistamat kerrosalat osa-alueittain	169
LIITE 23 Skenaariokehikko	170
LIITE 24 Toimitilarakennusten ominaisenergiakulutuksen kehitys eri skenaarioissa	171
LIITE 25 Asuinrakennusten ominaisenergiakulutuksen kehitys eri skenaarioissa	172

Kuvat

Kuva 1 Rakennusten energian loppukäytön muodostuminen [1]	16
Kuva 2 Asuinrakennusten kerrosalat 2012 [7].....	17
Kuva 3 Suomen kotitalouksien <i>Kotitaloudet yhdistetty</i> -indeksisarjalla mallinnettu sähkökuorma vuonna 2011	19
Kuva 4 Palvelusektorin energiantensiteetin kehitys Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa sekä EU:ssa keskimäärin [9].....	22
Kuva 5 Palvelurakennusten kerrosalat ja niiden kasvu vuodesta 2007 vuoteen 2012 [7]	23
Kuva 6 Palvelusektorin sähköintensivisyyden kehitys Suomessa, Ruotsissa, Norjassa ja EU:ssa keskimäärin [9]	24
Kuva 7 Suomen palvelurakennusten <i>Palvelut yhdistetty</i> -indeksisarjalla mallinnettu sähkökuorma vuonna 2012	25
Kuva 8 Pääkaupunkiseudulla sijaitseville toimistorakennuksille tyypillinen sähkökäytön vuosiprofiili (Aalto-yliopiston tuntityyppikäyrä).....	26
Kuva 9 Tyypillinen toimistorakennuksen sähkökuorman viikkoprofiili (Aalto-yliopiston tuntityyppikäyrä).....	27
Kuva 10 Toimistorakennuksille tyypillinen arkipäivän sähkökuormaprofiili (Aalto-yliopiston tuntityyppikäyrä)	28
Kuva 11 Pääkaupunkiseudun liikerakennuksille tyypillinen sähköenergian vuosiprofiili (Aalto-yliopiston tuntityyppikäyrä).....	29
Kuva 12 Liikerakennuksille tyypillinen sähkökuorman viikkoprofiili (Aalto-yliopiston tuntityyppikäyrä)	30
Kuva 13 Liikerakennuksille tyypillinen arkipäivän sähkökuormaprofiili (Aalto-yliopiston tuntityyppikäyrä).....	30
Kuva 14 Lähteessä [16] esitetty asuin- ja palvelurakennuskannan kehitys 2000 - 2050	34
Kuva 15 Rakennuksen ostoenergiankulutuksen taseraja [21]	39
Kuva 16 Lähes nollaenergiarakennuksen energiataseen muodostuminen [29]	41
Kuva 17 Lähes nollaenergiatalon kustannusoptimin määrittäminen [26]	42
Kuva 18 Hamburgissa sijaitsevan aurinkolämpödemostraatiokohteen järjestelmän periaatekuva. [36].....	45
Kuva 19 Kodin energianhallintajärjestelmä ja sen rajapinnat [http://www.hitachi.com/products/smartcity/solution/hems/index.html]	48
Kuva 20 Asuinrakennusten lämmitysenergiankulutuksen vaihtelu.....	48
Kuva 21 Lähteessä [44] esitelty rakennuskohtainen jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmä.....	50
Kuva 22 Tuntuvan lämmön varastointitapoja veteen ja maaperään [35]	56
Kuva 23 Hampurissa sijaitsevan rivitaloalueen aurinkoavusteisen kaukolämmitysjärjestelmän kausilämpövarastosäiliön rakenne [36].....	57
Kuva 24 Poikkileikkauskuva Tanskassa PTES -menetelmällä toteutetusta lämmön kausivarastosta. Varaston tilavuus on 75000 m ³ ja se toimii 100 % uusiutuviin energialähteisiin perustuvan kaukolämpöjärjestelmän lämmön kausivarastona. [52].....	58
Kuva 25 Kanadassa sijaitsevan pientaloalueen aurinkokaukolämpöjärjestelmän kausivarastona toimivan porareikäilämpövaraston rakenne, varasto on tilavuudeltaan 34000 m ³ , halkaisijaltaan 35 metriä ja se koostuu 24 rinnankytketystä säikeestä, joissa kaikissa on kuusi porareikäilämmönvaihtajaa kytketty sarjaan eli yhteensä 144 noin 35 metriä syvästä porareikästä [55]	59
Kuva 26 Rostockin aurinkolämpödemostraatiokohteen lämpöjärjestelmän periaatekuva [56]	60
Kuva 27 Demostraatiokohteiden kuumavesilämpövarastojen toteutuneita investointikustannuksia, kustannukset eivät sisällä arvonnalisäveroa [52]	62
Kuva 28 Neljän eri menetelmällä toteutetun lämmönkausiavaraston rakennuskustannusten muodostuminen ilman suunnittelukustannuksia ja arvonnalisäveroa [52].....	63
Kuva 29 Esimerkkirakennuksen johtumislämpöhäviöt ja LKV:n energian tarve	68
Kuva 30 Auringon keskimääräinen säteilyenergia neliometriä kohti erikuukausina Helsingissä. Etelää kohti suunnattu taso, jonka kallistuskulma 45 astetta.	69
Kuva 31 Tasokeräimen 32 m ² keskimääräinen kuukausituotto	70
Kuva 32 Esimerkkipientalon lämpöenergian nettotarve ja 32 m ² aurinkolämpökeräimen keskimääräinen tuotto kuukausittain	71
Kuva 33 Mallinnettu näkymä tulevaisuuden Keilaniemestä Länsiväylältä päin nähtynä [http://aineistopankki.espooli.fi/?cart=346-deakaikkala&l=FI].....	74
Kuva 34 Työssä käytetty T3 -alueen rajausta [Espoon kaupunkisuunnittelukeskus, yleiskaavayksikkö]	75
Kuva 35 Rakennuskanta-aineiston kokonaiskerrosalan jakauma 2012	76
Kuva 36 Rakennuskanta-aineiston sisältämät toimitilat ja asuin-kerrosalat 2012.....	77
Kuva 37 Toimitilakerrosalan jakauma toimisto-, opetus-, ja liikerakennuksiin 2012	77
Kuva 38 Asuin-kerrosalan rakennustyyppijakauma 2012.....	78
Kuva 39 LEAP -ohjelmassa käytetty skenaariomallin loppukäytön puumainen rakenne	82
Kuva 40 Vuorokauden keskimääräinen aurinkoenergiatuotannon tuntitehoindeksi eri kuukausina Helsingissä kun aurinkomodulin suuntaus on kohti etelää ja sen kallistuskulma on 42 astetta.	84
Kuva 41 Tuntitehoindeksiin perustuva aurinkoenergian vuorokausituotanto eri kuukausina 1 kW nimellistehoiselle aurinkoenergiajärjestelmälle Etelä-Suomessa.	84
Kuva 42 T3 -alueen sähkökulutus 2012.....	90
Kuva 43 T3 -alueen toimisto-, opetus- ja liikerakennusten sähkökäytön vuosiprofiili (sininen käyrä) ja mallin keskimääräiset tunnin ulkolämpötilat (vihreä käyrä) (Aalto-yliopiston tuntityyppikäyrä).....	92
Kuva 44 T3 -alueen toimisto- ja opetusrakennusten vuoden 2012 sähkökuorman vuosiprofiili (sininen käyrä) ja mallin keskimääräiset tunnin ulkolämpötilat (vihreä käyrä) (Aalto-yliopiston tuntityyppikäyrä).....	92
Kuva 45 T3 -alueen toimisto- ja opetusrakennusten sähkökuorman pysyvyys vuonna 2012.....	93
Kuva 46 T3 -alueen toimisto- ja opetusrakennusten sähkökuorman viikkoprofiili (mallin viikko 26) (Aalto-yliopiston tuntityyppikäyrä).....	93
Kuva 47 T3 -alueen toimisto- ja opetusrakennusten keskimääräinen sähköenergian tarve (% rakennusluokan vuosienergiasta) arki-, aatto- ja pyhäpäivinä sekä -öinä	94
Kuva 48 T3 -alueen liikerakennusten sähkökäytön vuosiprofiili 2012 ja mallin tunnin keskimääräinen ulkolämpötila (vihreä käyrä) (Aalto-yliopiston tuntityyppikäyrä)	95

Kuva 49 Liikerakennusten sähkökuorman pysyvyys 2012.....	96
Kuva 50 T3 –alueen liikerakennusten sähkökuorman viikkoprofiili (mallin viikko 4) (Aalto-yliopiston tuntityyppikäyrä)	96
Kuva 51 T3 –alueen liikerakennusten keskimääräinen sähköenergiatarve (% vuosienenergiasta) arki-, aatto- ja pyhävuorokautena eri vuodenaikoina vuonna 2012	97
Kuva 52 T3 –alueen asuinrakennusten vuoden 2012 sähkökuormaprofiili (Aalto-yliopiston tuntityyppikäyrä)	98
Kuva 53 T3 –alueen asuinrakennusten sähkökuorman pysyvyys 2012	99
Kuva 54 T3 –alueen asuinrakennusten vuoden 2012 sähkökuormaa kuvaava viikkoprofiili (mallin viikko 7) (Aalto-yliopiston tuntityyppikäyrä).....	99
Kuva 55 T3 –alueen asuinrakennuksien keskimääräinen sähköntarve (% asuinrakennusten vuosienenergiasta) arki-, aatto- ja pyhäpäivinä sekä –öinä eri vuoden aikoina.	100
Kuva 56 T3 –alueen asuin- ja toimitilarakennusten sähkönkäytön vuosienenergiaprofiilit ja summaprofiili	101
Kuva 57 T3 –alueen asuin- ja toimitilarakennusten sähkökuorman pysyvyys.....	102
Kuva 58 T3 –alueen asuin- ja toimitilarakennusten sähkökuorman viikkoprofiilit ja summaprofiili (viikko 4)	102
Kuva 59 T3 –alueen asuin- ja toimitilarakennusten keskimääräinen sähköntarve (% rakennusluokkien vuosienenergiasta 244 GWh) arki-, aatto- ja pyhäpäivinä ja –öinä eri vuodenaikoina.	103
Kuva 60 Tapiola-Otaniemi-Keilaniemi -alueen kaukolämmön kuukausittaiset kaukolämpöenergiat 2012	105
Kuva 61 T3 –alueen kaukolämmön loppukäytön jakautuminen rakennusluokittain 2012.....	105
Kuva 62 T3 –alueen toimisto- ja opetusrakennusten mallinnettu kaukolämmön kysynnän tuntiprofiili (sininen käyrä) ja tunnin keskimääräiset ulkolämpötilat (vihreä käyrä) vuonna 2012 (Fortum kaukolämpöaineisto).....	106
Kuva 63 T3 –alueen toimisto- ja opetusrakennusten kaukolämpökuorman pysyvyys vuonna 2012	107
Kuva 64 T3 –alueen toimistorakennuksen kaukolämmönkulutuksen viikkoprofiili (viikko 8, 2012) (Fortum kaukolämpöaineisto).....	108
Kuva 65 Kuvan (Kuva 63) viikkoprofiilin keskituntulämpötilat (viikko 8, 2012).....	108
Kuva 66 T3 –alueen toimisto- ja opetusrakennusten keskimääräinen kaukolämpöenergian tarve (% vuosienenergiasta 408 GWh) arki-, aatto- ja pyhäpäivinä sekä –öinä 2012.....	109
Kuva 67 T3 –alueen liikerakennusten kaukolämmöntarpeen vuosiprofiili (sininen käyrä) 2012 ja ulkolämpötila (vihreä käyrä) (Fortum kaukolämpöaineisto)	110
Kuva 68 T3 –alueen liikerakennusten kaukolämpökuorman pysyvyys 2012	111
Kuva 69 T3 –alueen liikerakennusten kaukolämmönkäytön viikkoprofiili (viikko 8, 2012) (Fortum kaukolämpöaineisto)	112
Kuva 70 T3 –alueen liikerakennusten vuoden 2012 keskimääräinen kaukolämmön tarve (% liikerakennusten vuosienenergiasta 119 GWh) arki-, aatto-, ja pyhäpäivinä ja –öinä eri vuoden aikoina.....	112
Kuva 71 T3 –alueen asuinrakennusten kaukolämpöenergia- (sininen käyrä) ja ulkolämpötilaprofiili vuonna 2012 (Fortum kaukolämpöaineisto).....	113
Kuva 72 T3 –alueen asuinrakennusten kaukolämpökuorman pysyvyys 2012.....	114
Kuva 73 T3 –alueen asuinrakennusten kaukolämmöntarpeen viikkoprofiili (viikko 8, 2012) (Fortum kaukolämpöaineisto).....	115
Kuva 74 T3 –alueen asuinrakennusten keskimääräinen kaukolämpöenergian tarve (% asuinrakennusten vuosienenergiasta 1,3 TWh) arki-, aatto- ja pyhäpäivinä sekä öinä eri vuodenaikoina 2012.....	115
Kuva 75 T3 –alueen asuin- ja toimitilarakennusten kaukolämmöntarpeen vuosiprofiilit ja niiden summaprofiili (Fortum kaukolämpöaineisto).....	116
Kuva 76 T3 –alueen asuin- ja toimitilarakennusten kaukolämpökuorman pysyvyys.....	117
Kuva 77 T3 –alueen asuin- ja toimitilarakennusten kaukolämpökuorman viikkoprofiilit ja summaprofiili (viikko 8, 2012) (Fortum kaukolämpöaineisto).....	117
Kuva 78 T3 –alueen asuin- ja toimitilarakennusten keskimääräinen kaukolämmöntarve (% vuosienenergiasta 1,8 TWh) arki-, aatto- ja pyhäpäivinä ja –öinä eri vuodenaikoina.....	118
Kuva 79 T3 –alueen uudisrakennusten energiankysyntä vuoteen 2030 mennessä eri skenaarioissa.....	120
Kuva 80 Energian loppukäytön jakautuminen rakennusluokittain skenaarioissa	120
Kuva 81 Huoneisto- ja kiinteistösähkön, käyttöveden lämmitysenergian ja tilojen lämmitysjärjestelmän energian osuudet eri skenaarioissa	121
Kuva 82 Huoneisto- ja kiinteistösähkön, käyttöveden lämmitysenergian ja tilojen lämmitysenergian suhteelliset osuudet eri skenaariovuosina toteutuneissa rakennusmassoissa	122
Kuva 83 Polttoaineiden osuudet energian loppukäytöstä eri skenaarioissa.....	123
Kuva 84 Polttoaineiden suhteelliset osuudet eri skenaariovuosina toteutuneissa rakennusmassoissa	124
Kuva 85 Aurinkoenergialla syrjäytetty (kumulatiivinen) ostosähkö ja ostolämpö eri skenaarioissa	124
Kuva 86 Toimistorakennuksen sähkökuorman viikkoprofiili ja viikon aurinkotuoton tuntitehoindeksit maaliskuussa	126
Kuva 87 Toimiston keskimääräisen arkipäivän sähkökuorman muodostuminen ja maaliskuun aurinkotuoton tuntitehoindeksit.....	127
Kuva 88 Liikerakennuksen suhteellinen sähkökuorman viikkoprofiili ja viikon aurinkotuotannon tuntitehoindeksit maaliskuussa.....	128
Kuva 89 Asuinhuoneiston sähkökuorman viikkoprofiili (LA-PE) ja viikon aurinkotuotannon tuntitehoindeksit maaliskuussa	129
Kuva 90 Toimistorakennuksen keskimääräinen kaukolämmönkysynnän viikkoprofiili ja maaliskuun aurinkoenergian tuotannon tuntitehoindeksit.....	130
Kuva 91 Liikerakennusten keskimääräinen kaukolämmönkysynnän viikkoprofiili ja maaliskuun aurinkoenergiatuotannon tuntitehoindeksit.....	131
Kuva 92 Asuinrakennusten keskimääräinen kaukolämmönkysynnän viikkoprofiili ja maaliskuun aurinkoenergian tuotannon tuntitehoindeksit.....	131
Kuva 94 Sylinterin muotoinen kaarevilla päädyillä varustettu säiliö [48].....	147

Taulukot

Taulukko 1 Asuinrakennusten lämmitysaineiden jakaantuminen 2012 [Tilastokeskus].....	18
Taulukko 2 Palvelusektorin toimialojen ominaiskulutuksia.....	31
Taulukko 3 Selvityksessä [14] esitetty asuin- ja palvelurakennusten netto-ostoenergian muutos vuosina 2020 ja 2050 vuoden 2007 tasoon verrattuna	35
Taulukko 4 Ostoenergiamuotojen kertoimet [22]	37
Taulukko 5 Rakennusluokat ja niille sallitut kokonaisenergiankulutukset D3/2012 mukaan [19]	38
Taulukko 6 Rakennusosien lämmönläpäisykertoimet D3/2012 mukaan [19]	40
Taulukko 7 Eräiden matalalämpövarastomateriaalien ominaisuuksia [48]	52
Taulukko 8 Lämpöenergian eri varastointitapojen ominaisuuksia ja asennuskustannusten oletettu kehitys vuoden 2011 tasosta vuoteen 2020 mennessä [35].....	64
Taulukko 9 Eräiden latenttilämpövarastomateriaalien ominaisuuksia [46].....	65
Taulukko 10 Esimerkkipientalon laajuustiedot	66
Taulukko 11 Esimerkin kuukausittainen aurinkolämpötuotto ja rakennuksen vaipan lämpöhäviöt ja LKV energiantarve (kWh).....	71
Taulukko 12 Toimitilakerroksalan polttoainejakauma 2012	78
Taulukko 13 Asuinkerroksalan polttoainejakauma 2012	79
Taulukko 14 alueen asemakaavojen mahdollistamat asuin- ja toimitilojen kerrosalat	79
Taulukko 15 Uudisrakennuskannan energiatarpeen laskennassa käytetyt ominaiskulutukset	87
Taulukko 16 Perusvuoden rakennuskannan energian määrityksessä käytettyjä rakennusten ominaiskulutuksia	88
Taulukko 17 T3 -alueen sähkökuorman muodostuminen ja kuorman jakaantuminen eri osa-alueiden kesken.....	90

Yksiköt, käsitteet ja lyhenteet

Yksiköt

GWh	Gigawattitunti
kWh	Kilowattitunti
kWh/ m ² , v	Kilowattituntia vuodessa per kerrosneliö
kWh / (m ² a)	
kWh / m ³ , v	Kilowattituntia vuodessa per rakennuskuutio
kWh / (m ³ a)	
kW _{th}	Kilowatti, lämpöteho
m ²	Neliömetri
m ³	Kuutiometri
MWh	Megawattitunti
TWh	Terawattitunti

Käsitteet

Ominaiskulutus	Energiankulutus yksikköä kohden esimerkiksi kWh / (m ² a) tai kWh / m ² , v
Palvelusektori	Kansantalouden tuotannonala, jonka muodostavat julkiset- tai yksityiset palveluiden tuottajat.
Sähköintensiteetti	Sähkön kokonaiskulutuksen suhde bruttokansantuotteeseen.
Toimitila- / palvelurakennus	Rakennus, jonka tiloja käytetään aineettomien tai aineellisten hyödykkeiden tuotantoon. Toimitilat voidaan jaotella liiketiloihin, toimistotiloihin, tuotannollisiin tiloihin, palvelutiloihin ja varastotiloihin.

Lyhenteet

COP	Coefficient of Performance, lämpöpumpun tuottaman lämpöenergian suhde pumpun sähköenergiankulutukseen, lämpöpumpun hyötysuhdetta kuvaava luku
PCM	Phase-change Material, faasimuunnosmateriaali
RakMk D3 / 2012	D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennusten energiatehokkuus: Määräykset ja ohjeet 2012
SLY	Suomen Sähkölaitosyhdistys ry, Sähkölaitosyhdistys on nykyään nimitään Sähköenergialiitto (Sener)

1 Johdanto

Taajamien rakennetun ympäristön osuus Suomen energian loppukulutuksesta ja siten myös kasvihuonekaasupäästöistä on merkittävä. Pelkästään rakennusten ja rakentamiseen sisältyvän kulutuksen osuus energian loppukäytöstä on yli 40 %. Kun mukaan lasketaan liikenneverkostoissa syntyvä energiankulutus, niin rakennetun ympäristön osuus energian loppukäytöstä on yli 50 %. Rakennetun ympäristön energiankulutuksen vähentäminen energiatehokkuutta parantamalla on parhaita keinoja vähentää yhdiskunnan ostoenergian tarvetta ja samalla energiantuotannosta syntyviä päästöjä. Myös yhdyskuntiin hajautettu energiantuotanto ja rakennuksiin integroidut energiajärjestelmät voivat vähentää ostoenergian kokonaiskysyntää tulevaisuudessa. [1], [2]

Rakennetun ympäristön energiatehokkuuden parantaminen on eräs kustannustehokkaimmista keinoista hillitä ilmastonmuutosta. Euroopan parlamentin toukokuussa 2010 uudistaman rakennusten energiatehokkuusdirektiivin toimilla on tarkoitus vähentää rakennusten osuutta energian loppukulutuksesta parantamalla tulevan ja jo olemassa olevan rakennuskannan energiatehokkuutta. Direktiivi vaatii, että vuoden 2020 loppuun mennessä kaikkien uusien rakennusten tulee olla lähes nollaenergiarakennuksia eli matalaenergiarakennuksia, joiden vuotuisesta energiankulutuksesta merkittävä osa katetaan rakennuksessa tai sen lähistöllä tuotetulla uusiutuvalla energialla. [3] Tämän seurauksena uusiutuviin energialähteisiin perustuvan hajautetun tuotannon osuus yhdyskuntien energiasta odotetaan kasvamaan merkittävästi lähitulevaisuudessa. Yhdyskunnan aluesuunnittelussa energiaratkaisuilla on suuri vaikutus alueen kehitykseen ja energiahuollon tehtävä on turvata energiansaanti mahdollisimman kustannustehokkaasti ja kestävällä tavalla. [4] Hajautetun tuotannon osuuden kasvu ja uusiutuvan energian osuuden lisääntyminen asettavat monia haasteita alue- ja energiasuunnittelulle koska energiajärjestelmän kustannustehokkuus, päästövaikutukset ja kokonaiskapasiteetin tarve riippuvat merkittävästi siitä kuinka hyvin hajautettu tuotanto integroituu alueen energiajärjestelmään [2].

Kehitysnäkymät ja arviot siitä miten rakennuksiin kohdistuvat energiatehokkuustoimet sekä rakennuksiin integroitu uusiutuvan energian tuotanto muuttavat rakennusten sähkön ja lämmön kysyntöjä, sekä niiden ajallista vaihtelua sekä missä rajoissa energiankäyttöä on mahdollista ohjata voivat olla hyödyllisiä kaupunki- ja aluesuunnitte-

lun tukena kun energiajärjestelmää ja jakeluverkkoja kehitetään vastaamaan tulevaisuuden muuttuvia tarpeita.

Tässä diplomityössä kartoitetaan Otaniemi-Keilaniemi-Tapiolan keskus –alueen (T3 –alue) rakennusten energiankäyttöä ja –kysyntää. Työssä selvitetään miten sähkön- ja lämmönkäyttö on jakautunut tällä hetkellä eri rakennusluokissa sekä sähkön ja lämmön kysyntöjen ajallinen vaihtelu niissä. Työssä selvitetään miten rakennuksiin kohdistetut energiatehokkuustoimet, rakennuksiin integroitu hajautettu energiantuotanto ja energiavarastot vaikuttavat rakennusten energian kysyntään ja T3 -alueen energian loppukäyttöön tulevaisuudessa.

1.1 Työn tavoite ja rajaukset

Tämän työn päätavoitteena on luoda skenaarioita energiankysynnästä ja sen ajallisesta vaihtelusta tulevaisuuden yhdyskunnissa kirjallisuuskatsauksen, case -alueelle tehdyn analyysin ja laskelmien avulla. Muita kysymyksiä, joita työssä tarkastellaan, ovat seuraavat:

- Kuinka lämmön ja sähkön käyttö on jakautunut nykyisin ja mikä on näiden kysyntöjen ajallinen vaihtelu palvelu- ja kotitaloussektorin rakennuksissa.
- Kuinka sähkön ja lämmönkäyttö tulee muuttumaan energiatehokkuustoimien, energiavarastojen ja kysyntäjoustopuolien vuoksi.
- Mikä on yhdyskuntaan integroidun paikallisen tuotannon todennäköisin kehityssuunta.
- Missä rajoissa energiankäyttöä mahdollisesti voidaan ohjata.

Työssä tutkitaan asuin- ja palvelurakennuksissa tapahtuvaa energian kulutusta koska sen osuus T3 –alueen kulutuksesta on merkittävin. Energiankäytön muuttumista on tarkasteltu rakennuskannassa tapahtuvien muutosten, rakennuksiin kohdistuvien energiatehokkuustoimien, paikallisen tuotannon, energiavarastojen ja kysyntäjoustopuolien näkökulmista.

1.2 Työn rakenne

Työ koostuu kirjallisuusselvityksestä ja työosiosta. Kirjallisuusselvitys kattaa luvut 2 – 5. Luvussa 2 käsitellään Suomen asuin- ja palvelurakennusten energiakysyntää, energian loppukäytön muodostumista, ominaiskulutuksia sekä lämmön ja sähkön kysyntöjen ajallista vaihtelua. Luku 3 käsittelee rakennuskannan energian loppukäyttöön vaikuttavia tekijöitä. Luku 4 luo katsauksen tuntuvan lämmön varastointiin, varastointin häviöihin sekä varastojen investointikustannuksiin. Luvussa 5 esitellään tutkimuksen case –alue (Espoo T3) sekä alueen nykyinen ja suunniteltu maankäyttö. Työssä käytetyt menetelmät on esitelty luvussa 6. Luku 7 esittelee T3 –alueen energiankäytön sähkö- ja kaukolämpöaineistoon perustuvan nykytilan. Luvussa 8 esitellään T3 –alueen maankäyttösuunnitelmiin pohjautuvat energiaskenaariot alueen uudisrakennuskannalle sekä arvioidaan aurinkoenergian saatavuuden ja rakennusten energiankysyntöjen kohtaamista tuntitasolla. Lopuksi luvussa 9 on esitetty yhteenveto ja johtopäätelmät.

1.3 RYM Oy ja Energizing Urban Ecosystems (EUE) –ohjelma

RYM Oy on rakennetun ympäristön strategisen huippuosaamisen keskittymä (SHOK), jonka toiminnan lähtökohtana on tuottaa strategisten tutkimus- ja kehittämishankkeiden avulla kansainvälistä huippuosaamista rakennetun ympäristön koko elinkaarelle. RYM Oy on 53 osakkaan pääomasijoitusyhtiö, jonka toiminta jakautuu tutkimusstrategian mukaisiin tutkimusohjelmiin.

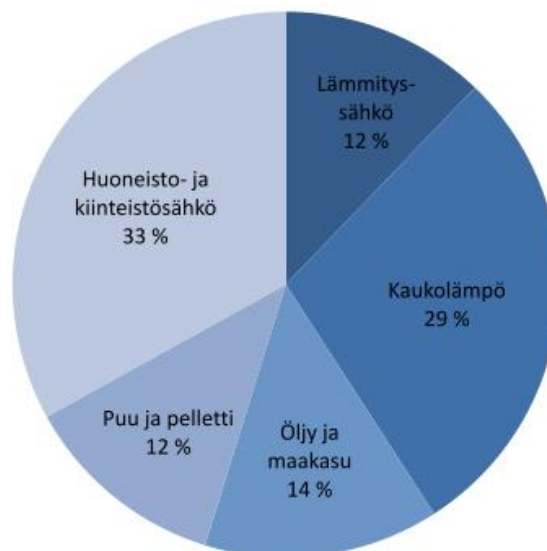
RYM Oy:n EUE -ohjelmassa kehitetään tulevaisuuden kaupunkivisioita ja luodaan käyttäjälähtöisiä ja kilpailukykyisiä urbaaneja ratkaisukonsepteja kaupungistumisen mukanaan tuomiin haasteisiin. EUE –ohjelman lisäksi on kirjoitushetkellä käynnissä on kaksi tutkimusohjelmaa:

- Build Environment Process Re-Engineering (PRE)
- Indoor Environment (IE) – Sisäympäristö

Tämä diplomityö on osa EUE –tutkimusohjelman ”Energy Management” –työpaketin tehtävää 3, jonka tavoitteena on tuottaa skenaarioita energiankäytöstä tulevaisuuden yhdyskunnissa.

2 Asuin- ja palvelurakennusten energiankäyttö

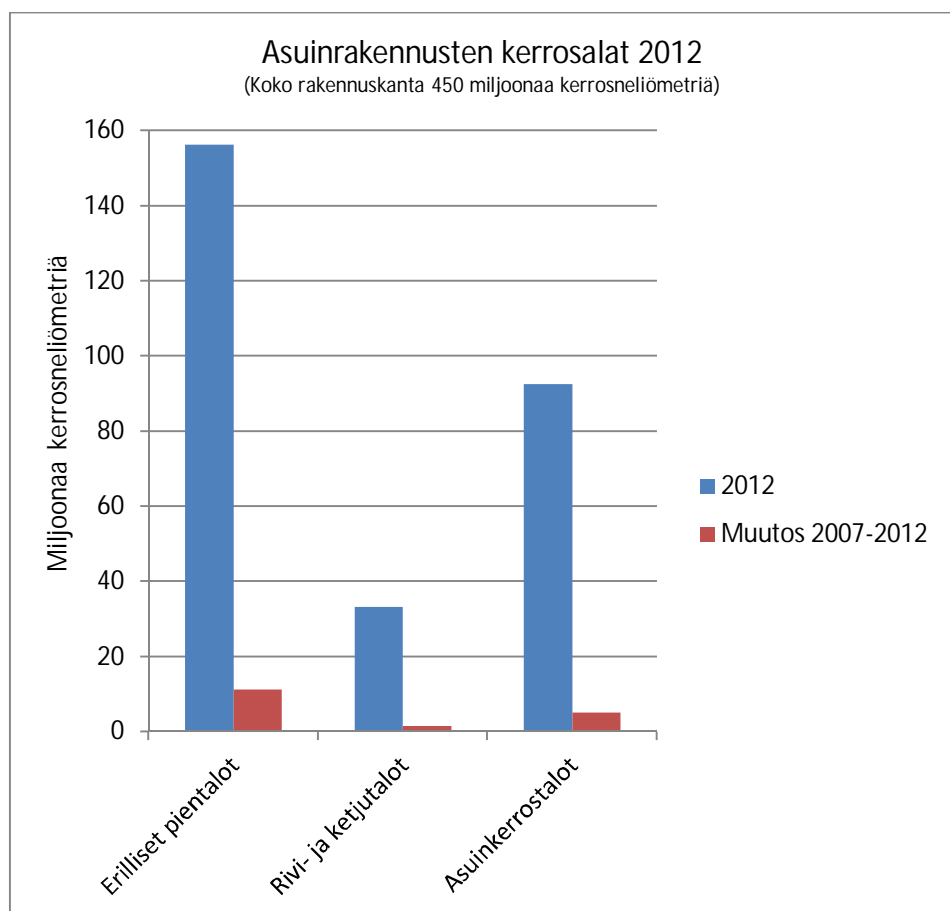
Suomen rakennuksissa käytettiin vuonna 2007 energiaa noin 116 TWh [5]. Rakennusten energiankulutuksen osuus on noin 40 prosenttia Suomen energian loppukäytöstä. Rakennusten energian loppukäyttö muodostuu lämmitykseen käytetystä energiasta, huoneisto- ja kiinteistösähköstä. Noin puolet loppuenergiasta käytetään rakennusten tilojen lämmitykseen. Rakennusten energian loppukäyttö jakautuu kuvan (Kuva 1) mukaisin osuuksin lämmityssähköön, kaukolämpöön, öljyyn ja maakaasuun, puuhun ja pellettiin sekä huoneisto- ja kiinteistösähköön [1].



Kuva 1 Rakennusten energian loppukäytön muodostuminen [1]

2.1 Asuinrakennukset

Asumisen energiankulutus oli vuonna 2011 62 TWh, joka vastaa yli puolta koko Suomen rakennuskannan energiankulutuksesta [6] [2]. Kuvassa (Kuva 2) on esitetty Suomen asuinrakennusten kerrosalat 2012 ja niiden muutokset vuodesta 2007 vuoteen 2012. Asumiseen liittyvän kerrosalan osuus Suomen rakennuskannan kokonaiskerrosalasta on yhteensä noin 63 %. Asuinrakennuksiin liittyvä kerrosala on lisääntynyt keskimäärin 1,26 % vuodessa vuosien 2007 ja 2012 välisenä ajanjaksona.



Kuva 2 Asuinrakennusten kerrosalat 2012 [7]

Asumiseen liittyvästä energian loppukäytöstä 84 % kului asuinrakennusten lämmittämiseen ja 16 % kotitalouslaitteisiin vuonna 2011 [6]. Taulukossa (Taulukko 1) on esitetty asuinrakennusten lämmitysaineiden jakaantuminen rakennustyyppien mukaan. Yleisimmät asuinrakennusten lämmitysaineet ovat sähkö, öljy ja kaukolämpö. Suo-

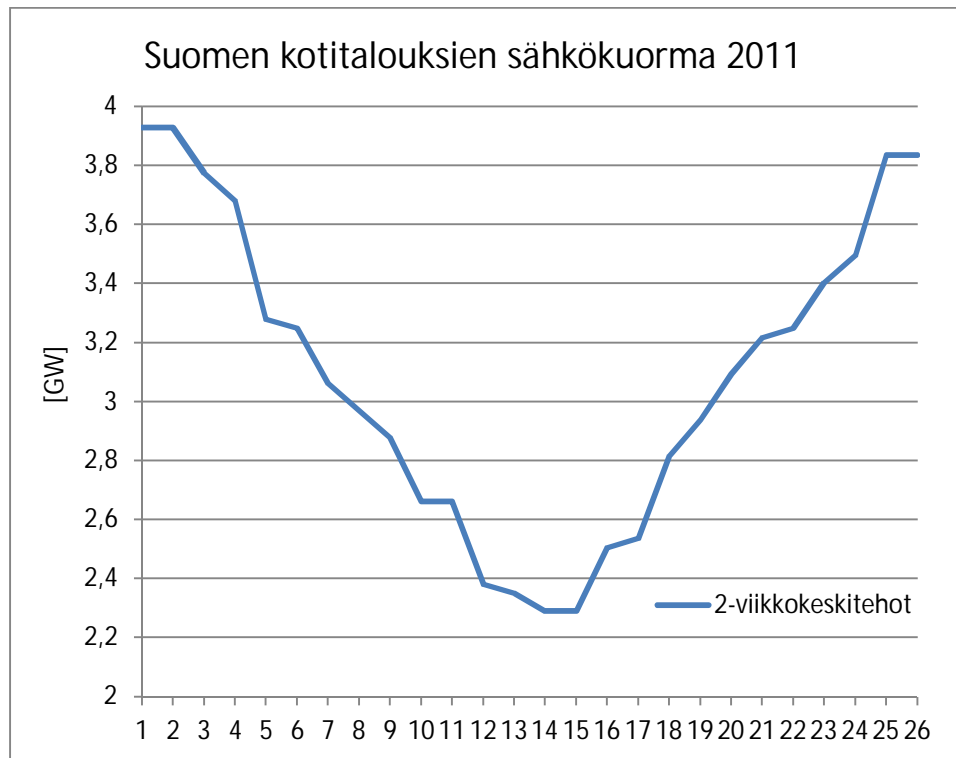
men pientalot lämpenevät pääasiallisesti sähköllä kun taas puu ja öljy ovat lähes yhtä suurilla osuuksillaan toiseksi yleisimmät lämmitysaineet pientaloissa. Rivi- ja ketjutaloista yli 40 prosenttia on kaukolämmityksen piirissä, noin kolmannes sähkölämmityksessä ja vajaa neljännes lämpenee öljyllä. Suomen kerrostaloista yli 75 (yli 90 % [5]) prosenttia on kytketty kaukolämpöön ja noin viidennes niistä lämpenee öljyllä.

Taulukko 1 Asuinrakennusten lämmitysaineiden jakaantuminen 2012 [Tilastokeskus]

Lämmitysaine	Erilliset pientalot	Rivi- ja ketjutalot	Asuinkerrostalot
Kauko- tai aluelämpö	5,3 %	44,0 %	77,0 %
Öljy, kaasu	22,9 %	21,9 %	16,2 %
Sähkö	42,7 %	32,0 %	4,0 %
Kivihiili	0,6 %	0,0 %	0,2 %
Puu, turve	23,5 %	0,8 %	1,8 %
Maalämpö	2,6 %	0,5 %	0,2 %
Muu, tuntematon	2,5 %	0,7 %	0,7 %

2.1.1 Sähkönkäyttö

Asumiseen eli asuinrakennusten lämmitykseen ja kotitalouslaitteisiin käytettiin sähköä 21 964 GWh vuonna 2011 [6]. Suomen asumisen sähkönkäyttöön vuonna 2011 ja Suomen Sähkölaitosyhdistys ry:n *Kotitaloudet yhdistetty* -2-viikkoindekseihin perustuva Suomen kotitalouksien sähkökuorma on esitetty kuvassa (Kuva 3).



Kuva 3 Suomen kotitalouksien *Kotitaloudet yhdistetty* -indeksisarjalla mallinnettu sähkökuorma vuonna 2011

Laitesähkön osuus asumisen energian loppukäytöstä oli vuonna 2011 41 prosenttia ja lämmityssähkön osuus 59 prosenttia [8]. Huoneisto- ja kiinteistösähkönkäyttö vaihtelee huomattavasti eri rakennustyypeissä. Asuinrakennuksissa ja vapaa-ajan rakennuksissa sen osuus energian loppukäytöstä on noin 20 – 25 prosenttia. [5]

Vakituisesti asuttujen asuntojen sähkön lämmityskäyttö on lisääntynyt tutkimuksen mukaan lähes 2 TWh ajanjaksolla 2006 - 2011. Lämmityksen, lämpimän käyttöveden ja ilmanvaihdon osuus on noin 60 % asuntojen sähkönkäytöstä ja se on kasvanut yli 4 prosenttia vuodessa kyseisellä ajanjaksolla. Kasvua selittävät sähköisen lattialämmityksen ja ilmalämpöpumppujen lisääntynyt käyttö muiden lämmitysmuotojen rinnalla. Tutkimuksen mukaan vuonna 2011 kotitalouksien laitesähkön kulutuksen kolme suurinta ryhmää olivat valaistus 8 % osuudellaan, kodin elektroniikka ja kylmälaitteet 7 % osuuksillaan. Lisäksi astianpesukoneen yleistyminen on lisännyt laitesähkön osuutta asuntojen sähkönkulutuksessa. Valaistuksen ja elektronisten laitteiden energiatehokkuus on parantunut huomattavasti tutkitulla ajanjaksolla mutta se ei ole pystynyt kompensoimaan laitekannan lisääntymisen ja kasvaneiden käyttömäärien vaikutusta. Raportissa mainitaan myös auton sisätalälämmitykseen käytetyn sähkön olevan selvässä kasvussa. [8]

2.1.1 Ominaiskulutus

Suomen asuinrakennusten keskimääräiseksi ominaisenergiankulutukseksi vuoden 2011 kulutustiedon ja arvioidun¹ kerrosalan perusteella laskettuna saadaan 223 kWh / m²,v. Lähteen [2] mukaan olemassa olevan asuinrakennuskannan keskimääräinen energiankulutus on noin 250 kWh / m²,v, josta lämmityksen osuus on 160 kWh / m²,v. Uusien asuinrakennusten keskimääräinen energiankulutus Suomessa on 130 kWh / m²,v – 150 kWh / m²,v, josta tilojen lämmityksen osuus on noin puolet [2].

Tutkimuksessa [9] on esitetty 12 rakennuksen tuntienenergiamittauksiin perustuvat sähkön ja kaukolämmön ominaiskulutukset. Tutkimuksen otos sisälsi pien-, rivi- ja kerrostaloasuntoja Norjan Trondheimissa. Keskimääräinen ominaisenergiankulutus tutkituille asuinrakennuksille oli 166 kWh / m²,v. Keskimääräiseksi kaukolämmön ominaiskulutukseksi muodostui 116 kWh / m²,v ja keskimääräinen sähkön ominaiskulutus oli 49 kWh / m²,v tutkituissa rakennuksissa.

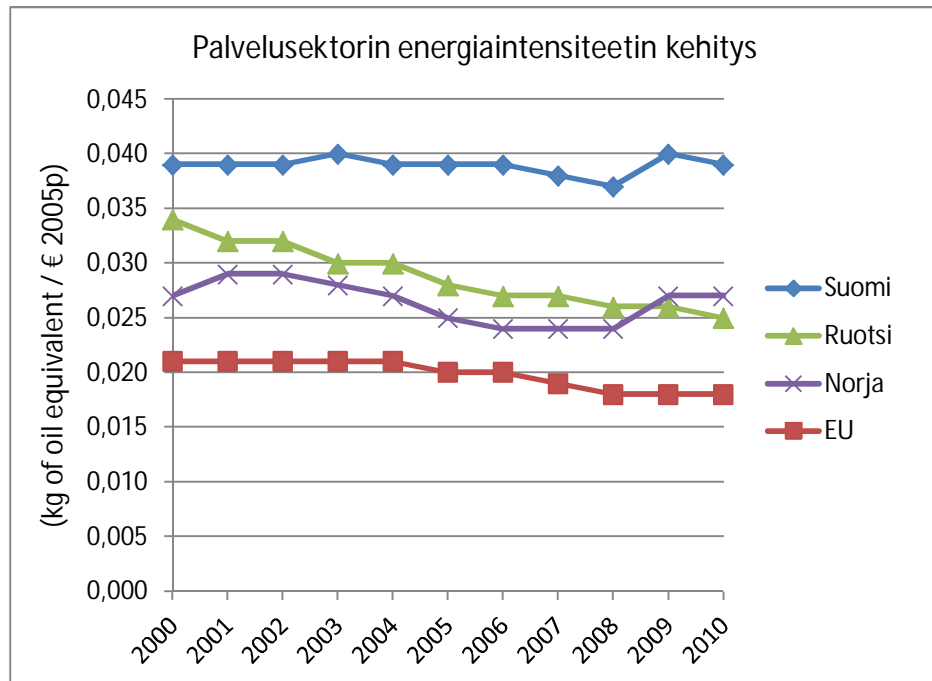
Sähkön ominaiskulutus asuinrakennuksissa vuoden 2011 kulutustietojen ja edellä arvioidun 2011 kerrosalan perusteella oli 97 kWh / m²,v, josta laitesähkön osuus on 28 kWh / m²,v ja lämmityssähkön osuus on 69 kWh / m²,v. Helsingin alueella sijaitsevien

¹Vuoden 2011 asuinrakennuksiin liittyvä kerrosala on laskettu korjaamalla vuoden 2012 asumisen kerrosalaa keskimääräisellä vuotuisella asuinkerrosalankasvuprosentilla (1,26 %), joka on määritetty vuosien 2007 – 2012 välisen ajanjakson keskimääräisen asuinkerrosalan kasvun perusteella.

asuntojen sähkön ominaiskulutuksen keskiarvoksi on lähteessä [10] esitetty $24 \text{ kWh} / \text{m}^2, \text{v}$. Tutkimuksessa [11] on sähkönominaiskulutukseksi esitetty sähkölämmitteisille kotitalouksille $(0,42 \text{ kWh} / \text{m}^2, \text{päivä})$ $153,3 \text{ kWh} / \text{m}^2, \text{v}$ ja muulla tavoin lämmitetyille kotitalouksille $(0,11 \text{ kWh} / \text{m}^2, \text{päivä})$ $54,8 \text{ kWh} / \text{m}^2, \text{v}$.

2.2 Palvelurakennukset

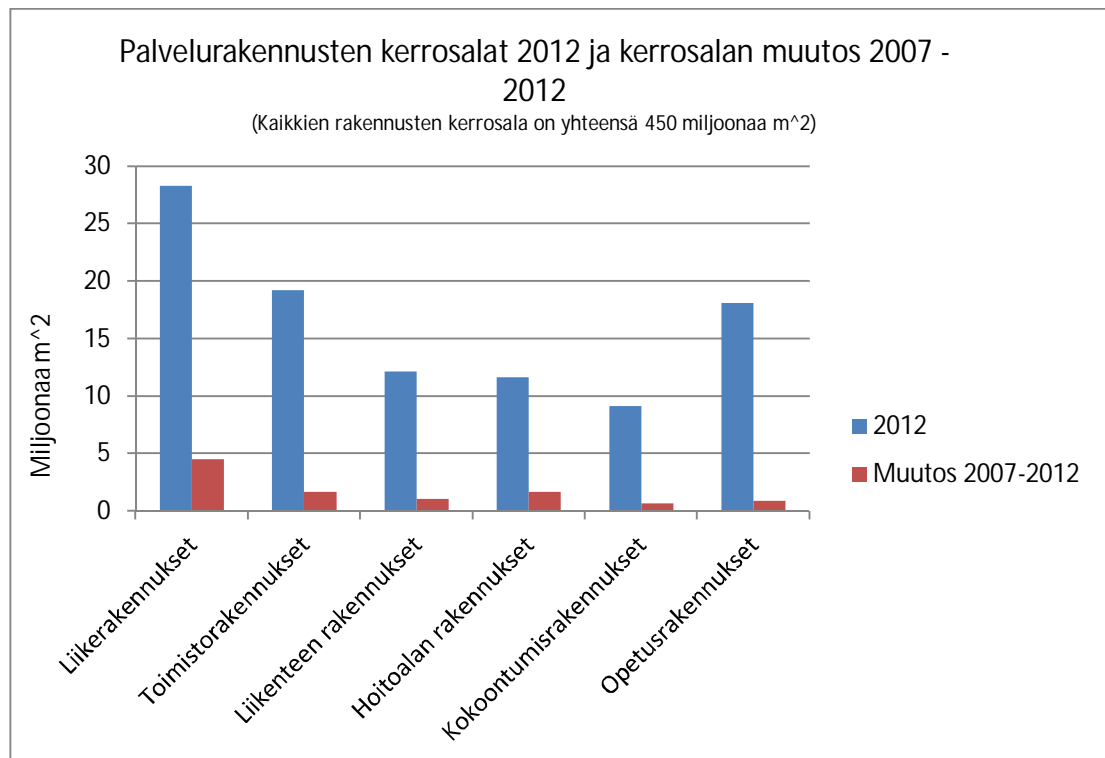
Yksityiset ja julkiset palvelut kuluttivat yhteensä energiaa noin 34 TWh vuonna 2009 [1]. Suomen palvelusektori on hyvin energiantensiivinen ja palveluiden lisäarvon tuottamiseen käytetään selvästi enemmän energiaa kuin naapurimaissa keskimäärin [12]. Kuva 4 havainnollistaa palvelusektorin energiantensiteettien kehittymistä Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa sekä EU:ssa keskimäärin vuodesta 2000 vuoteen 2010 perusvuoden 2005 hinnoin.



Kuva 4 Palvelusektorin energiantensiteetin kehitys Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa sekä EU:ssa keskimäärin [9]

Palvelusektorin energian loppukulutus muodostuu palvelurakennusten lämmityksestä, toimitilojen valaistuksesta sekä jäähdytyksestä. Näiden lisäksi energiaa kuluu veden lämmitykseen, ruuan valmistukseen ja elintarvikkeiden kylmäsäilytykseen, tietokoneiden sekä muiden toimistolaitteiden käyttöön. Lämmityksen, valaistuksen ja jäähdytyksen energiankulutukseen vaikuttavia muuttujia ovat palvelurakennuksen lattiapinta-ala ja tilavuus. Veden lämmitykseen, toimistolaitteisiin ja muihin sähkölaitteisiin kulutettu energia riippuu taas voimakkaasti palvelusektorin työntekijämäärästä. [13] Näiden lisäksi myös palvelurakennusten käyttöaste vaikuttaa merkittävästi energiankulutukseen [14].

Palvelurakennuksen jakautuvat hyvin monenlaisiin rakennuksiin. Suomen rakennuskannan kuluttamasta energiasta liike- ja toimistorakennusten osuus on 17 % ja julkisten palvelurakennusten osuus on 8 % [2]. kuvassa (Kuva 5) on esitetty Suomen palvelurakennusten kerrosalat ja kerrosalojen muutokset vuodesta 2007 vuoteen 2012. Palvelurakennuksia on Suomen rakennuskannassa yhteensä 140558 kappaletta [7]. Palvelurakennusten kerrosalan osuus on lähes neljännes Suomen rakennuskannan kokonaiskerrosalasta.

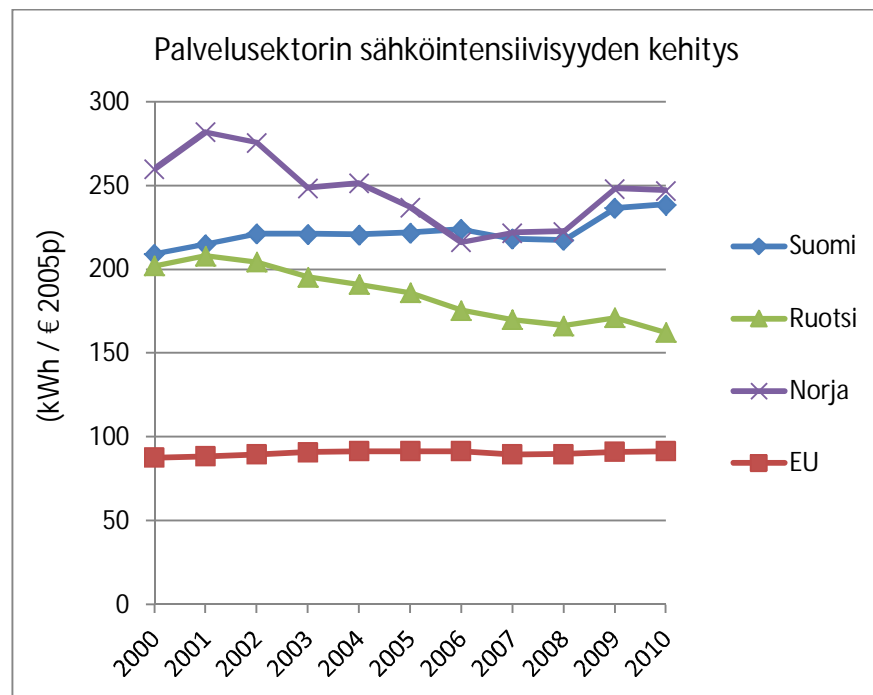


Kuva 5 Palvelurakennusten kerrosalat ja niiden kasvu vuodesta 2007 vuoteen 2012 [7]

Palvelurakennuksista 60 – 70 % lämmitetään kaukolämmöllä [5]. Taajamien ulkopuolella öljy on vallitseva lämmitysaine ja pienet palvelurakennukset lämpenevät usein sähköllä [15].

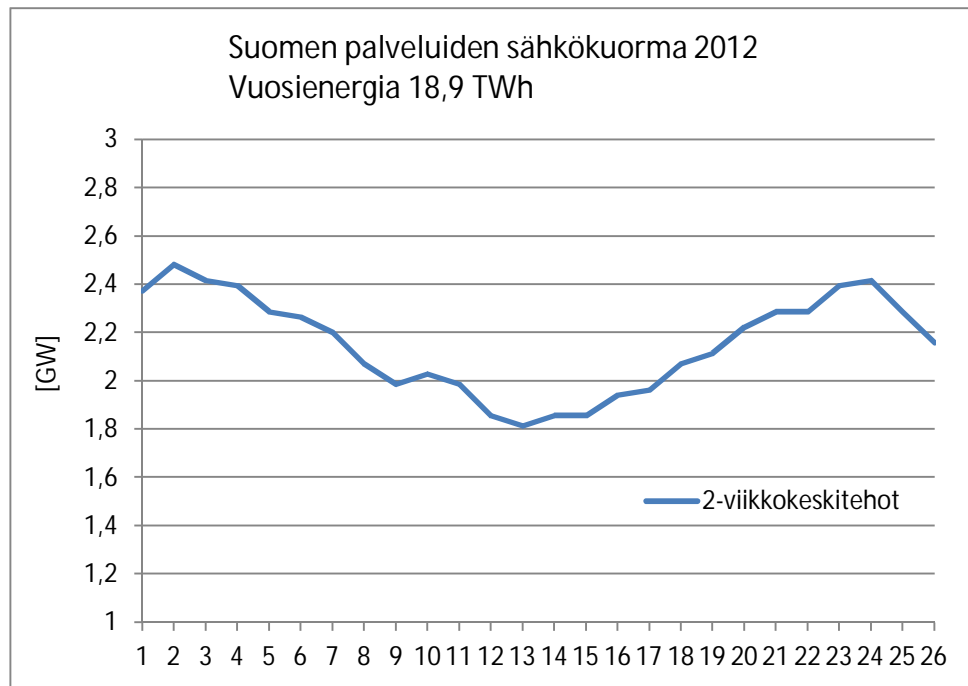
2.2.1 Palveluiden sähkönkäyttö

Palveluiden ja julkisen sektorin sähköenergian osuus sähkön loppukäytöstä oli 18,9 TWh eli 22 % koko Suomen sähkökulutuksesta vuonna 2012 [16]. Palvelualan sähkökulutus on kasvanut vuosittain lähes 3 prosentilla aina vuodesta 1990 lähtien [1]. Huoneisto- ja kiinteistösähköä käytetään eniten palvelurakennuksissa, joissa sen osuus energian loppukulutuksesta on noin 35 – 40 % [15]. Tästä valaistuksen osuus on 30 – 40 % ja noin kolmannes on laitesähköä [17]. Tietoa sähkönkäytön jakaantumisesta on heikemmin saatavilla kuin tietoa lämmitysenergian jakaantumisesta alan monimuotoisuudesta johtuen [15]. Kuva 6 havainnollistaa palvelusektorin sähköintensiivisyyden kehitystä Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa verrattuna EU: keskimääräiseen tasoon perusvuoden 2005 hinnoin.



Kuva 6 Palvelusektorin sähköintensiivisyyden kehitys Suomessa, Ruotsissa, Norjassa ja EU:ssa keskimäärin [9]

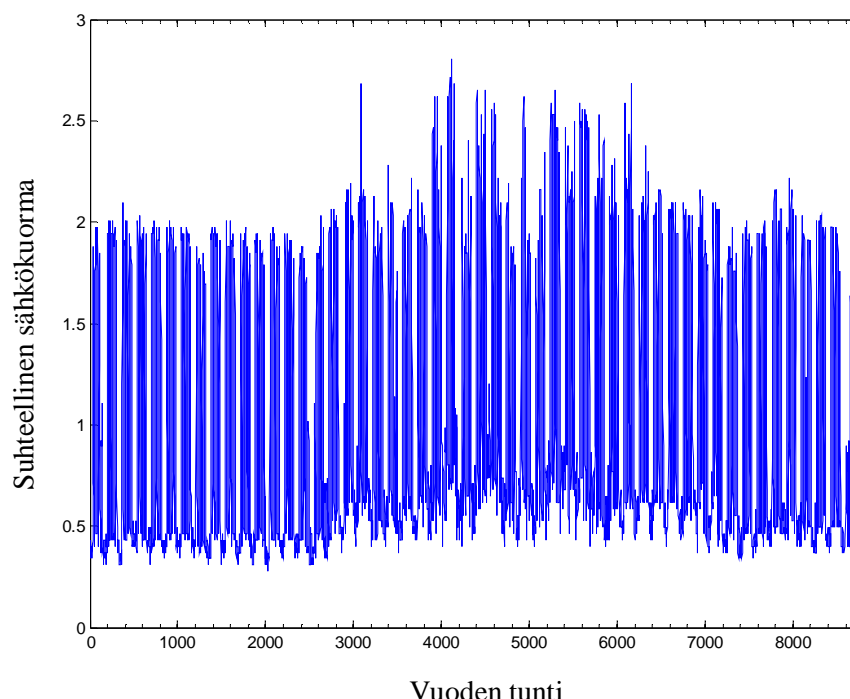
Suomen palvelusektorin vuoden 2012 sähkönkäytön keskituntitehoon ja SLY:n *Palvelut yhdistetty* -2-viikkoindekseihin perustuva palveluiden sähkökuorma Suomessa vuonna 2012 on esitetty kuvassa (Kuva 7).



Kuva 7 Suomen palvelurakennusten *Palvelut yhdistetty* –indeksisarjalla mallinnettu sähkökuorma vuonna 2012

Toimitilarakennukset

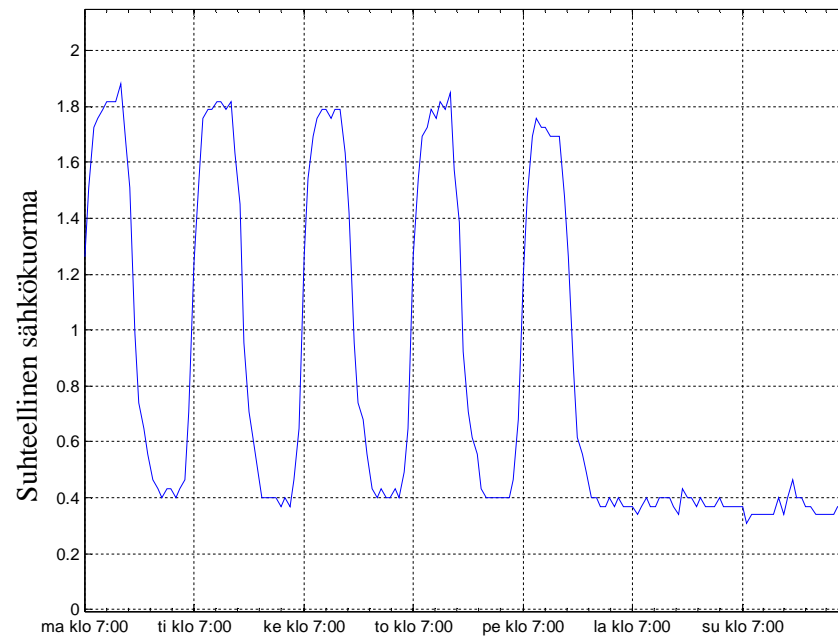
Toimitilarakennusten sähköenergiantarpeeseen vaikuttaa pääasiassa rakennuksen käyttöaste ja käytönaikaiset laitekuormat sekä tilojen valaistus. Kesäkuukausina toimittilojen jäähdytystarve lisääntyy, mikä voi merkittävästi lisätä toimitilan sähkönkulutusta. Kuvassa (Kuva 8) on esitetty Aalto-yliopiston tuntityyppikäyrään perustuva tyypillisen pääkaupunkiseudulla sijaitsevan keskimääräisen toimistorakennuksen sähköntarpeen vuosiprofiili. Vuosienergiaprofiilista on nähtävissä, että toimistorakennuksen sähkönkysyntä kasvaa kesäkuukausina, joille myös kulutushuiput ajoittuvat.



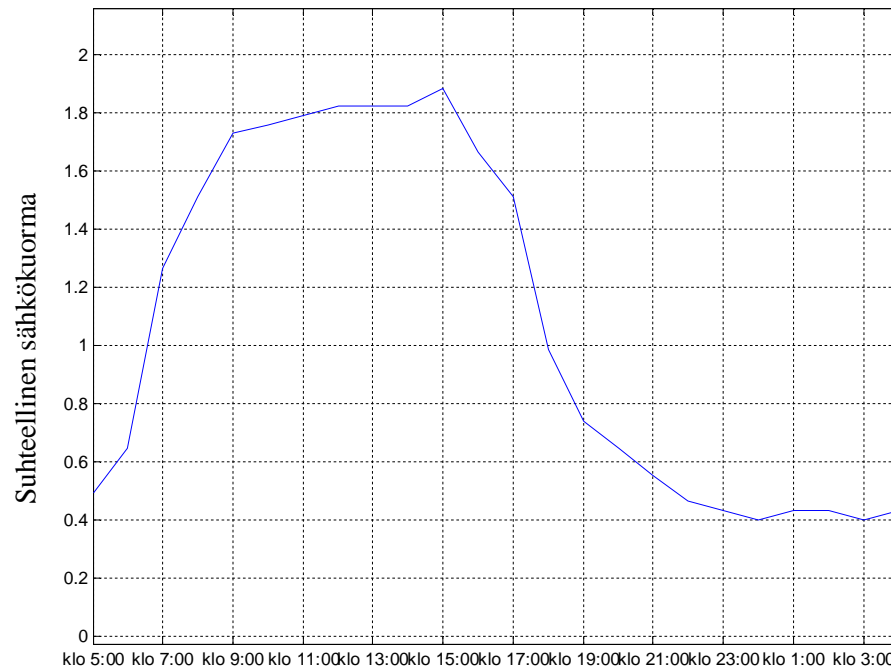
Kuva 8 Pääkaupunkiseudulla sijaitseville toimistorakennuksille tyypillinen sähkönkäytön vuosiprofiili (Aalto-yliopiston tuntityyppikäyrä)

Toimistorakennuksen *D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012* (D3) –mukainen standardikäyttöaika on 11 tuntia vuorokaudessa viitenä päivänä viikossa ja käyttö ajoittuu klo 7 – 18 väliselle ajalle. Aalto-yliopiston tuntityyppikäyrään perustuvasta viikkoprofiilista (Kuva 9) on havaittavissa, että keskimääräisen toimistorakennuksen sähkönkäyttö noudattelee standardikäyttöaikoja. Toimistorakennuksissa aktiivisuus kasvaa voimakkaasti klo 7 – 9 välillä. Vuorokausiprofiilista (Kuva 10) tämä havaitaan ”aamuramppina” klo 7 – 9 (11) välillä kun sähkökuorma kasvaa nopeasti ilmanvaihdon-, valaistus- ja laitesähkötarpeen kasvaessa. Toimistorakennuksen kuormitushuiput

pu tapahtuu usein alkuiltapäivällä. Sähkökuorma putoaa jyrkästi iltapäivällä klo 17 – 19 kun ilmanvaihdon-, laite- ja valaistussähkön tarpeet alenevat rakennuksen käyttöajan ulkopuolella.

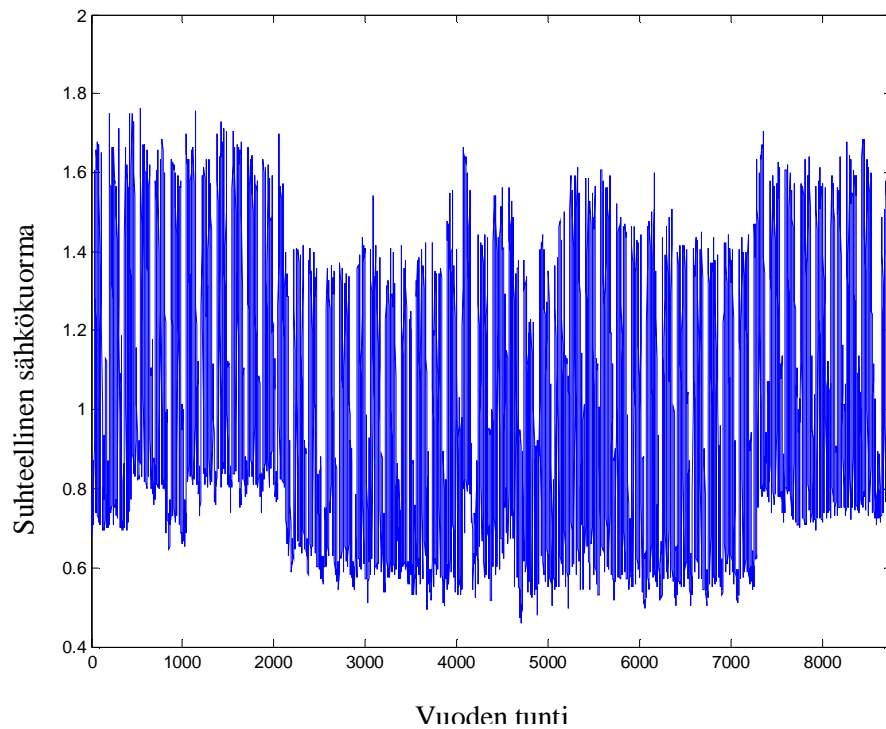


Kuva 9 Tyypillinen toimistorakennuksen sähkönkuorman viikkoprofiili (Aalto-yliopiston tuntityyppikäyrä)



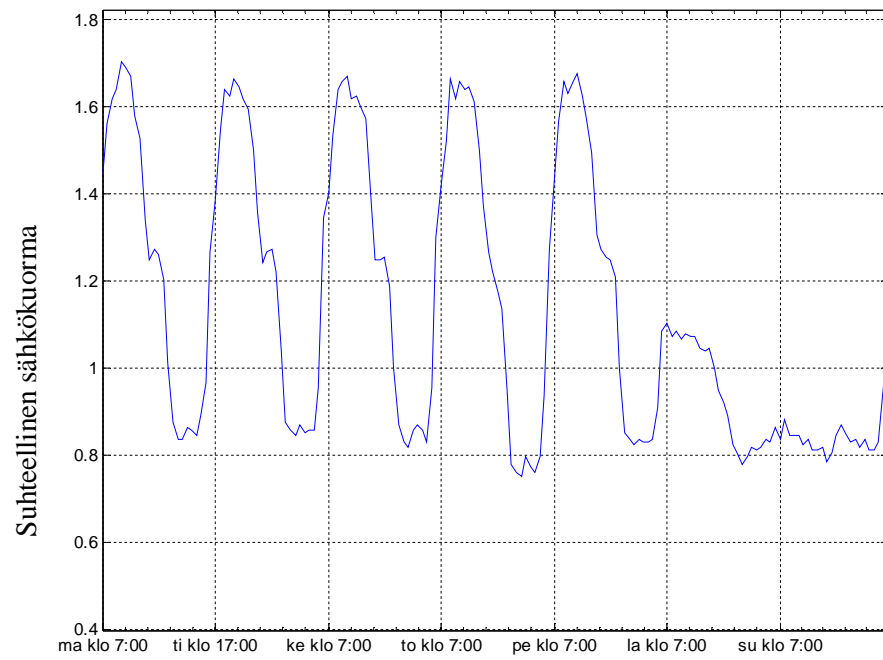
Kuva 10 Toimistorakennuksille tyypillinen arkipäivän sähkökuormaprofiili (Aalto-yliopiston tuntityypikäyrä)

Liikerakennuksissa sähkön kysyntä noudattelee selkeästi rakennuksen palveluaikojen riippuvainen pääasiallisesti rakennuksen käyttöasteesta. Kuvassa (Kuva 11) on tyypillinen pääkaupunkiseudulla sijaitsevan liikerakennuksen sähkötarpeen vuosiprofiili. Kesäkuukausien keskimääräisesti alentunut sähkötarve johtuneen pääosin pienentyneestä valaistustarpeesta. Kesälle ajoittuvat kulutushuiput puolestaan selittynevät hellejaksojen merkittävästä kasvaneesta jäähdytystarpeesta.

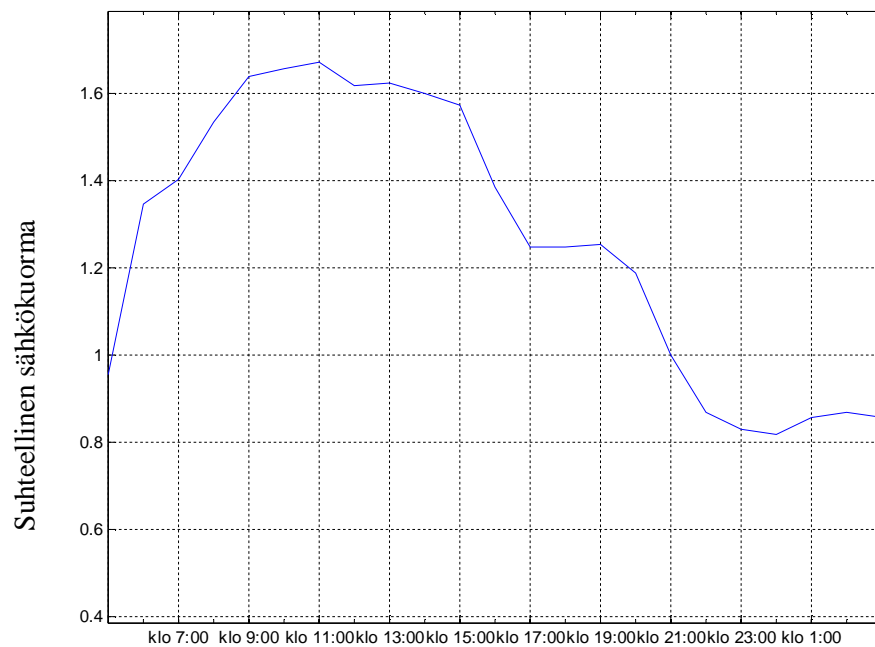


Kuva 11 Pääkaupunkiseudun liikerakennuksille tyypillinen sähköenergian vuosiprofiili (Aalto-yliopiston tuntityyppikäyrä)

Liikerakennusten D3 –määräysten mukainen käyttöaika ajoittuu klo 8 – 21 väliselle ajalle kuutena päivänä viikossa. Liikerakennuksille tyypillisestä sähkökuorman viikoprofiilista (Kuva 12) nähdään selkeästi palveluaikoja seuraava sähkökuorma. Kuvassa (Kuva 13) on esitetty liikerakennukselle tyypillinen arkipäivän sähkökuorma-profiili.



Kuva 12 Liikerakennuksille tyypillinen sähkökuorman viikkoprofiili (Aalto-yliopiston tuntityypikäyrä)



Kuva 13 Liikerakennuksille tyypillinen arkipäivän sähkökuormaprofiili (Aalto-yliopiston tuntityypikäyrä)

2.2.2 Ominaiskulutus

Taulukossa (Taulukko 2) on esitetty tutkimusten [13] ja [18] tietojen perusteella määritetyt ominaiskulutukset palvelusektorin eri toimialoille. Raportin [13] tiedot kuvaavat 13 OECD –maan palvelurakennusten keskimääräistä ominaisenergiankulutusta vuonna 1990 ja lähteestä [18] määritetyt luvut puolestaan kuvaavat tilannetta Suomessa vuonna 1998.

Taulukon (Taulukko 2) neljännen sarakkeen ominaisenergiankulutukset on määritetty lähteessä [19] raportoiduista lämpö- (LIITE 2) ja sähköenergian (LIITE 1) rakennustyyppikohtaisista ominaiskulutuksista. Ominaiskulutustiedot koostuvat 910 eri palvelurakennuksen kulutustiedoista, jotka on kerätty vuosien 2005 – 2011 välisenä aikana tehtyjen kuntotutkimusten yhteydessä. Sarakkeen neljä arvojen määrittämisessä tilavuuden ja kerrosalan välisenä suhteena on käytetty lähteessä [20] toimitiloille arvioitua kerrointa 5,5.

Tutkimuksessa [9] on määritetty 7 toimistorakennuksen, 15 koulurakennuksen, 3 hoitoalanrakennuksen sekä 5 hotelli ja ravintola –rakennuksen kaukolämmön- ja sähkön ominaiskulutukset tuntienenergiamittausten perusteella Norjan Trondheimissa. Keskimääräiset ominaiskulutukset tutkituille rakennustyypeille on esitetty taulukon (Taulukko 2) viidennessä sarakkeessa. Sarakkeeseen kuusi on poimittu lähteessä [17] esitetyt ominaisenergiankulutusalueet Suomen rakennuskannan toimisto-, liike-, ja opetusrakennuksille.

Taulukko 2 Palvelusektorin toimialojen ominaiskulutuksia

Palvelusektorin haara	kWh/m2, vuosi				
	OECD 1990 [13]	Suomi 1998 [18]	MOTIVA Kuntotutkimustilastot 2005 -2011 [19]	Norja Pedersen [9]	Motiva -opas [17]
Hotellit ja Ravintolat	500	487	537	233	
Terveystieteiden ja sosiaalipalvelut	750	405	525	284	
Koulutus	194	282	341	174	180 - 250
Muut palvelut	490	554			
Toimistot ja hallinto	646	295	301	235	190 - 250
Kauppa	347	320	298		200 - 500

Vuoden 2012 kerrosala- ja kulutustietojen perusteella oli keskimääräinen palvelurakennusten sähkön ominaiskulutus 192 kWh/m²,v. Työssä [10] on tutkittu tuntimitaustietojen perusteella palvelurakennusten sähkönkäyttöä Helsingin alueella. Raportin mukaan vuoden 2010 rakennuskannalla keskimääräinen palvelurakennusten sähkön ominaiskulutus oli 160 kWh/m²,v ja koko Helsingin alueella sijaitsevien toimitilojen keskimääräinen sähkön ominaiskulutus oli 127 kWh/m²,v. Tutkimuksessa [11] on määritetty ominaiskulutuksia eri asiakasryhmille, joita voidaan hyödyntää kuormitusennusteita laadittaessa. Toimistojen sähkön ominaiskulutukseksi raportissa esitettiin 0,15 kWh/m²,päivä, joka on vuositasolle muutettuna 54,74 kWh/m²,v.

3 Rakennuskannan ostoenergiankulutus

Suomen rakennuskannan ostoenergian kulutus oli 75 TWh vuonna 2010. Rakennuskannan tasolla energiankulutus jakautui lähes tasan ulkovaipan ja ilmanvaihdon lämpöhäviöiden kesken. Rakennuskanta on hyvin monimuotoinen energiankulutussektori koska sen energiankulutus riippuu yksittäisten rakennusten ominaisuuksista, käyttötarkoituksesta ja ilmastosta. Rakennusten energiankulutukseen voimakkaasti vaikuttavia ominaisuuksia ovat koko, ikä, rakennustyyppi, lämpöeristys ja varustelutaso. Asuinrakennuksissa ulkovaipan lämpöhäviöt muodostavat merkittävimmän osan energiankulutuksesta kun taas palvelu- ja liikerakennuksissa korostuu ilmanvaihdon lämpöhäviö. Nykyisen asuin- ja palvelurakennuskannan energiatehokkuuden parantamisella voidaan merkittävästi vaikuttaa rakennuskannan lämmitysenergian tarpeeseen tulevaisuudessa. Arvion mukaan rakennuskannan lämmitysenergiankulutuksesta voidaan leikata kolmannes vuoteen 2050 mennessä korjaamalla rakennuksen energiatehokkuus 2010 normien tasoiseksi muiden korjaustoimenpiteiden yhteydessä. [2] [5]

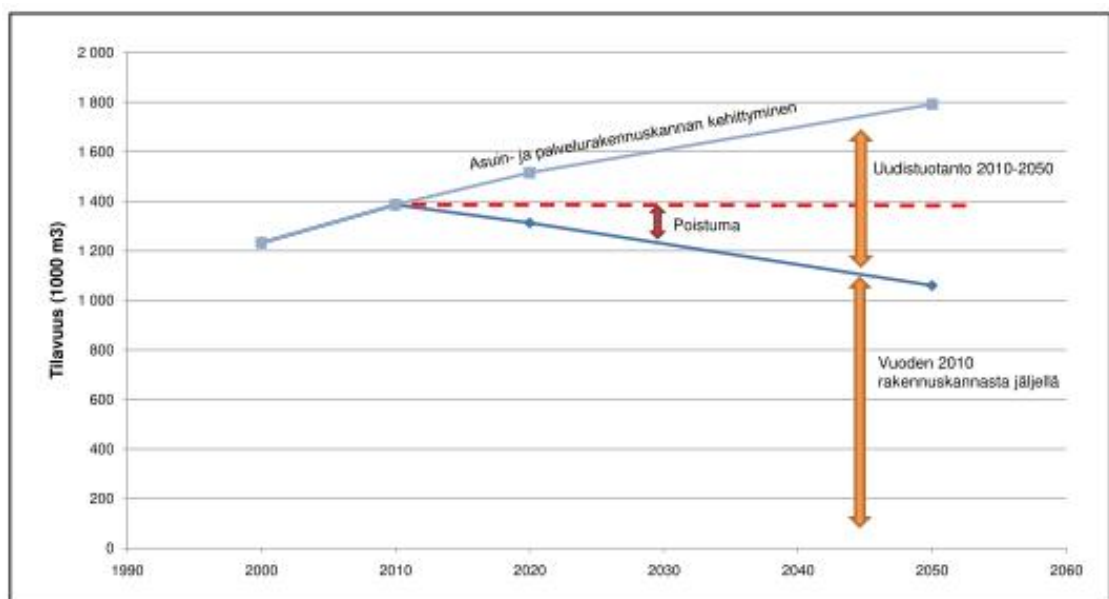
Useita asuinhuoneistoja sisältävillä rakennuksilla on korkea energiatiheys kerrosalaa kohti mutta yleisesti ne kuluttavat huomattavasti vähemmän lämmitys- ja jäähdytysenergiaa kuin yhden asunnon rakennukset. Rakennusten energiatehokkuus kasvaa mutta samaan aikaan asumisväljyys ja asuntojen varustelutaso kasvavat mikä lisää haastetta rakennuskannan energian kulutuksen hillitsemisessä.

Seuraavissa kappaleissa on tarkasteltu joitakin tekijöitä, joiden ansiosta rakennuskannan ostoenergiakysyntä muuttuneen merkittävästi tulevaisuudessa.

3.1 Rakennuskannan muutokset

Rakennuskanta muuttuu uudistuotannon ja poistuman seurauksena. Uudistuotantoa on viime vuosina ollut 8 – 10 miljoonaa m² [2]. Väestönkasvu ja asumisväljyyden lisääntyminen kasvattavat asuinrakennuskantaa. Väestönkasvu lisää myös palvelurakennusten tarvetta. Suomen toisessa kansallisessa energiatehokkuuden toimitasuunnitelmassa [1] arvioidaan nykyisestä rakennuskannasta olevan jäljellä vuonna 2050 vielä noin 75 %. Korjausrakentamisen arvioidaan jatkuvan merkittävänä 2010- ja 2020-luvuilla mm. julkisivujen ja putkistojen korjaustarpeen vuoksi. Asuinrakentamisessa taloudelliset panokset korjausrakentamiseen ja uudisrakentamiseen ovat lähes yhtä suuret.

Selvityksessä [15] on arvioitu, että vuoden 2010 asuin- ja palvelurakennuskannasta puretaan vuoteen 2050 mennessä neljännes. Poistuma on palvelurakennuksissa suurempi (0,8 – 1,3 %) kuin asuinrakennuksissa (0,3 %), mutta poistuman tarkka ennustaminen on vaikeaa. Lisäksi raportissa arvioidaan, että suurin osa poistumasta korvataan uudistuotannolla ja, että asukasmäärän lisääntymisen, asumisväljyyden kasvun sekä palvelujen lisätarpeen vuoksi rakennuskannan on kasvettava 30 % vuoteen 2050 mennessä verrattuna vuoden 2007 rakennuskantaan. Arvion mukaan vuoden 2010 asuin- ja palvelurakennuskannasta olisi jäljellä vuonna 2050 lähes 60 % mikä tarkoittaisi sitä, että noin 40 % rakennuskannasta olisi vuoden 2010 jälkeen rakennettua uudistuotantoa vuonna 2050 (Kuva 14).



Kuva 14 Lähteessä [15] esitetty asuin- ja palvelurakennuskannan kehitys 2000 - 2050

Samaisen tutkimuksen [15] mukaan nykyisellä rakennuskannalla on merkittävä rooli energiankulutuksessa vielä pitkälle tulevaisuuteen mutta rakennuskannan korjaamisen yhteydessä tehtävien energiatehokkuutta parantavien energiakorjausten avulla voidaan energiankulutusta pudottaa merkittävästi. Haasteena nykytilassa on löytää keinot, jolla peruskorjausten ja perusparannusten yhteydessä toteutettaisiin myös energiatehokkuutta lisääviä toimia. Raportissa on esitetty kolme vaihtoehtoista laskelmaa asuin- ja palvelurakennuskannan netto-ostoenergiakysynnän muutokselle vuosille 2020 ja 2050 vuoden 2007 tasoon verrattuna. Peruslaskelma (laskelma 1) kuvaa toteutettavissa olevaa tavoitetta ja siinä oletetaan, että suunniteltujen korjaustoimenpiteiden yhteydessä tehdään myös energiansäästötoimenpiteitä kyseisiin rakennusosiin tai järjestelmiin. Vertailulaskelmat kuvaavat tilannetta, jossa energiatehokkuuteen liittyviä korjauksia ei tehdä (laskelma 2) ja tilannetta, jossa kaikki rakennukset korjataan vuoden 2010 rakentamismääräyksien tasoisiksi (laskelma 3). Todennäköisimmän kehityksen arvioidaan olevan jossain peruslaskelman 1 ja vertailulaskelman 2 välissä. Laskelmien mukaiset asuin- ja palvelurakennusten netto-ostoenergian kulutuksen muutokset on esitetty taulukossa (Taulukko 3).

Taulukko 3 Selvityksessä [15] esitetty asuin- ja palvelurakennusten netto-ostoenergian muutos vuosina 2020 ja 2050 vuoden 2007 tasoon verrattuna

	2007	2020		2050	
	GWh/a	GWh/a	%	GWh/a	%
Lähtötilanne	86846				
Laskelma 1		-2880	-3	-13972	-16
Laskelma 2		2378	3	-3518	-4
Laskelma 3				-20668	-24

Korjausrakentamisen vaikutuksia koko Suomen rakennuskannan energiankäyttöön on tutkittu ja tutkimuksen skenaariot koko rakennuskannan tasolla on esitetty raportissa [2]. Erittäin pienien korjaustoimien skenaarioiden (Skenaariot 0 ja 1) mukaan koko rakennuskannan energiankulutus pienenee 3 – 4 % vuoteen 2020 mennessä vuoden 2012 tasosta. Mikäli korjaustoimenpiteet tehdään nykyisten rakentamismääräysten mukaiseen tasoon (Skenaario 2), tulisi rakennuskannan energiankulutus pienenevänsä 6 prosenttia vuoteen 2020 ja 13 % vuoteen 2030 mennessä. Kaiken korjausrakentamisen ollessa uudisrakentamisen tasoista (Skenaario 3) energian kuluisi 9 % prosenttia vähemmän vuonna 2020 ja 19 % vähemmän 2030 mennessä vuoden 2012 tasoon verrattuna.

3.2 Matalaenergia ja passiivitalot

Matalaenergiataloksi luokitellaan rakennus, jonka E-luku on 25 % rakennusmääräysten mukaista normitasoa pienempi. Matalaenergiatalon huoneiden lämmitysenergian tarve on noin $40 \text{ kWh} / (\text{m}^2 \text{ a}) - 60 \text{ kWh} / (\text{m}^2 \text{ a})$ eli noin puolet pienempi kuin vastaavan normitason rakennuksen. Passiivitalo on matalaenergiataloa energiatehokkaampi kokonaisuus, jonka ostoenergiatarpeesta valtaosa tuotetaan rakennuksessa. Lämmitysenergiaa passiivitalossa kuluu $20 \text{ kWh} / (\text{m}^2 \text{ a}) - 40 \text{ kWh} / (\text{m}^2 \text{ a})$ eli vain noin neljännes vastaavaan normitason rakennukseen verrattuna. [17]

Tuoreen suomalaistutkimuksen [21] mukaan matalaenergiapientalon sähkön huipputehokysyntä pienenee 28 % - 34 % ja energiankulutus vähenee 55 % - 62 % verrattuna vastaavaan rakennusmääräysten mukaisesti rakennettuun rakennukseen. Kylmissä olosuhteissa vaikutus on kuitenkin suurempi rakennuksen energian kulutukseen kuin tehohuippuun. Australialainen tutkimus [22] osoitti vastaavasti, että tehohuippu oli 26 % pienempi ja sähkön vuosikulutus väheni 57 % parhainten käytänteiden mukaan rakennetuissa toimistorakennuksissa verrattuna keskivertotoimistorakennuksiin. Tutkimuksen mukaan rakennuksen jäähdytyksen ja ilmanvaihdon energiankulutuksella oli merkittävin vaikutus huippukuormaan.

3.3 Ohjaustoimet

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi ja kansalliset rakennusmääräykset

Rakennusten osuus energiankulutuksesta ja hiilidioksidipäästöistä EU:ssa ja Suomessa on noin 40 prosenttia. Euroopan parlamentti hyväksyi uudistetun direktiivin (2010 / 31 / EU) rakennusten energiatehokkuudesta toukokuussa 2010. Direktiivin määrittämällä toimilla pyritään leikkaamaan 5 - 6 prosenttia EU:n energian loppukulutuksesta ja 4 - 5 prosenttia hiilidioksidipäästöistä vuonna 2020. Kansallisella tasolla direktiiviä sovellettaessa otetaan huomioon maan ilmasto-olosuhteet, paikalliset olosuhteet, sisäilmastolle asetetut vaatimukset ja kustannustehokkuus. [3]

Uudisrakentaminen

Energiatehokkuusdirektiivin ohjaamana heinäkuussa 2012 astui voimaan uudet kansalliset uudisrakennusten energiatehokkuutta koskevat määräykset ja ohjeet (*RakMk D3 / 2012*). Uusien määräysten tavoitteena on parantaa uusien rakennusten energiatehokkuutta noin 20 prosenttia vuoden 2010 määräystasoon verrattuna. Keskeinen uudistus määräyksissä on rakennusten kokonaisenergiatarkastelu, jossa rakennukselle lasketaan vuotuinen kokonaisenergiankulutus eli E-luku (kWh / (m² a)). [23]

E-luku on määritelty *RakMk D3 / 2012* seuraavasti; ”E-luku on energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen vuotuinen ostoenergiankulutus rakennustyypin standardikäytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden.”, jossa ostoenergiankulutuksella tarkoitetaan rakennukseen ulkopuolelta hankittua sähkö-, lämpö-, jäähdytysenergiaa. Ostoenergia voi olla tuotettu uusiutuvalla energialla tai se voi olla fossiilisen polttoaineen sisältämää energiaa. E-luvun määrittämiseksi tarvittavat kertoimet eri ostoenergiamuodoille on esitetty taulukossa (Taulukko 4). [24]

Taulukko 4 Ostoenergiamuotojen kertoimet (RakMk D3 / 2012)

Energiamuoto	Kerroin
sähkö	1,7
kaukolämpö	0,7
kaukojäähdytys	0,4
fossiiliset polttoaineet	1,0
rakennuksissa käytettävät uusiutuvat polttoaineet	0,5

Ostoenergiamuotojen kertoimet kuvastavat luonnonvarojen käyttöä ja niiden tavoitteena on ohjata uudisrakentamista siten, että rakennusten lämmitystapa tulisi olemaan muuntojoustava. Energiamuotojen kertoimet osaltaan estävät myös rakennuttajien investintisäästöjen siirtämisen käyttäjien maksettaviksi suurten energialaskujen muodossa. Lisäksi kokonaisenergiavaatimus varmistaa myös sen, että sähkönkäyttö tulee olemaan erittäin tehokasta sähkölämmityksellä varustetuissa rakennuksissa. [25] [26]

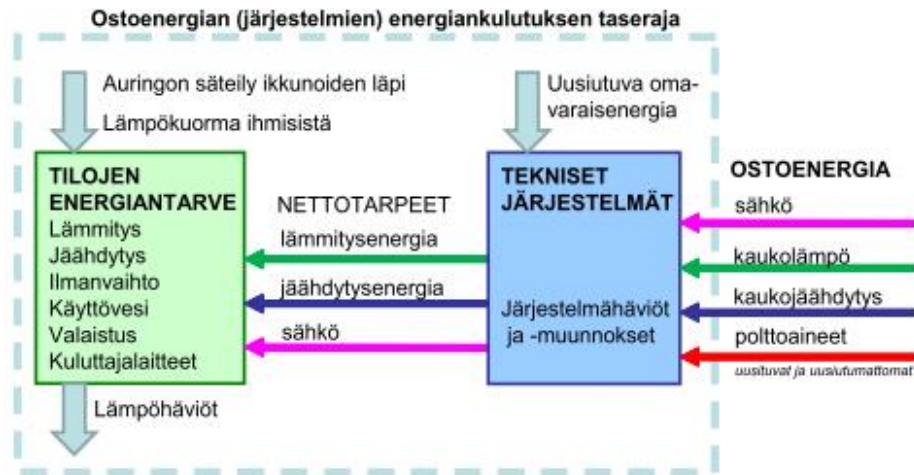
Määräyksissä on asetettu rakennusluokkakohtaiset enimmäisarvot kokonaisenergiankulutukselle. Rakennusluvan edellytyksenä on, että määräyksissä ilmoitettua rakennusluokkakohtaista E-lukua ei ylitetä. Taulukko (Taulukko 5) esittää eri rakennusluokat ja niille sallitut suurimmat kokonaisenergiankulutukset. Luokan 1 rakennuksille sallittu E-luku riippuu lämmitetystä nettopinta-alasta siten, että pienemmille rakennuksille sallitaan suurempi kokonaisenergiankulutus kuin suuremmille ($204 \text{ kWh} / (\text{m}^2 \text{ a}) - 130 \text{ kWh} / (\text{m}^2 \text{ a})$) ja lisäksi hirsitaloille sallitaan hieman suurempi kokonaisenergiankulutus ($229 \text{ kWh} / (\text{m}^2 \text{ a}) - 155 \text{ kWh} / (\text{m}^2 \text{ a})$). Rivi- ja ketjutaloille E-luku on $150 \text{ kWh} / (\text{m}^2 \text{ a})$. [23], [24]

Taulukko 5 Rakennusluokat ja niille sallitut kokonaisenergiankulutukset D3/2012 mukaan

Luokka	Käyttötarkoitus	kWh/m ² , a
1	Erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutalot	204 – 130
2	Asuinkerrostalot	130
3	Toimistorakennukset	170
4	Liikerakennukset	240
5	Majoitusliikerakennukset	240
6	Opetusrakennukset ja päiväkodit	170
7	Liikuntahallit pois lukien uima- ja jäähallit	170
8	Sairaalat	450
9	Muut rakennukset	ei vaatimusta

RakMk D3 / 2012 mukainen rakennuksen tilojen nettoenergiatarpeen ja ostoenergian taserajan muodostuminen on esitetty kuvassa (Kuva 15). Tilojen lämmitystarpeen laskennassa huomioidaan lämpökuormat ihmisistä ja auringon säteilystä ikkunoiden läpi. Rakennuksen ostoenergiankulutusta voidaan pienentää tuottamalla uusiutuvaa energi-

aa paikallisesti. Rakennuksessa paikallisista uusiutuvista energialähteistä tuotettua energiaa kutsutaan määräyksissä *uusiutuvaksi omavaraisenergiaksi*. Uusiutuvilla polttoaineilla paikallisesti tuotettua energiaa käsitellään kuitenkin osana uusiutuvaa osttoenergiaa. Uusiutuvaa omavaraisenergiaa voidaan tuottaa esimerkiksi aurinkopaneeleilla ja -keräimillä, tuuliturbiineilla sekä lämpöpumpuilla. [24]



Kuva 15 Rakennuksen ostoenergiankulutuksen taseraja (RakMk D3 / 2012)

Rakennuksen vaipan vertailulämpöhäviön laskennassa käytettävät lämmönläpäisykerroimet ovat pysyneet ennallaan vuoden 2010 tasosta (Taulukko 6). *RakMk D3 / 2012* mukainen kokonaisenergiatarkastelu antaa periaatteessa vapaammat keinot aikaisempaa paremman energiatehokkuuden saavuttamiseksi kuin aiemmat määräykset. Ensisijaisesti siihen pyritään kokonaisvaltaisella suunnittelulla, jossa energiatehokkuuden parantamiseen pyritään muun muassa seuraavin keinoin:

- rakennuksen massoittelu ja aukotus,
- tarpeenmukaisesti ohjattujen teknisten järjestelmien käyttäminen,
- uusiutuvan omavaraisenergian hyödyntäminen,
- energiamuotojen valinta,
- kylmäsiltojen minimointi,
- passiiviset auringonsuojauksratkaisut ja muut luonnonilmiöitä hyödyntävät ratkaisut sekä
- suunnitteluratkaisujen kokonaisoptimointi. [26]

Taulukko 6 Rakennusosien lämmönläpäisykertoimet D3/2012 mukaan

Rakennusosa	W/(m ² K)
seinä	0,17
hirsiseinä	0,40
yläpohja ja ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,09
ryömintätilaan rajoittuva alapohja	0,17
maata vasten oleva rakennusosa	0,16
ikkuna, kattoikkuna, ovi, kattovalokupu, savunpoisto- ja uloskäyntiluukku	1,00

Korjausrakentaminen

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin mukaan energiatehokkuutta on edistettävä myös jo olemassa olevassa rakennuskannassa. Uuden energiatehokkuusdirektiivin kansallisena sovelluksena rakentamista koskeva lainsäädäntö uudistettiin vuonna 2013 siten, että energiatehokkuudelle asetettiin vähimmäisvaatimukset myös korjausrakentamisessa. Vaatimuksia on noudatettava kun on kyse luvanvaraisista korjaustoimenpiteistä. Kiinteistön energiatehokkuuden parantamiseen ryhtyminen säilyy kuitenkin vapaaehtoisena ja omistajalla on oikeus päättää siihen alkaessaan millä keinoin energiatehokkuutta säästöjen puitteissa parannetaan. [27]

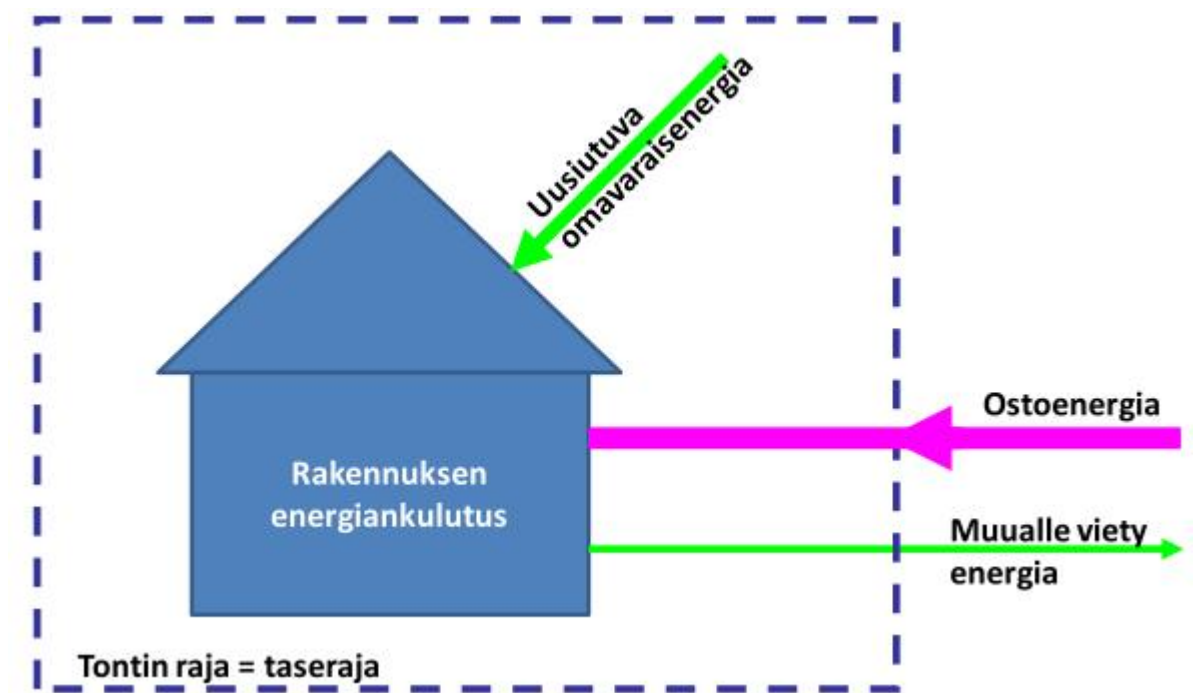
Energiatodistus

Energiatodistus on työkalu rakennusten energiatehokkuuden vertailuun ja parantamiseen. Todistus antaa tietoa rakennuksen ominaisuuksista ja energiatehokkuuden parantamissuosituksia rakennuksen myynti- tai vuokraustilanteessa. Vuodesta 2008 lähtien kaikille uudisrakennuksille on täytynyt laatia energiatodistus ja se on vaadittu suurten rakennusten ja uusien pientalojen myynti- ja vuokraustilanteissa vuodesta 2009 alkaen. Kesäkuusta 2013 alkaen astui voimaan uudistettu laki rakennuksen energiatodistuksista (50 / 2013). Lakiuudistuksen johdosta kaikki 1980 jälkeen rakennetut pientalot tarvitsevat myös energiatodistuksen myynnin tai vuokrauksen yhteydessä. Energiatodistusvaatimus tulee koskemaan vaihteittain kaikkia rakennuksia siten, että 1.7.2017 kaikki rakennukset ovat energiatodistusvaatimuksen piirissä. Poikkeuksena ovat pienet alle 50 m² kokoiset rakennukset, loma-asunnot ja suojelukohteet. [28]

Energiatodistuksen energiatehokkuusluokitus määräytyy rakennukselle *RakMk D3 / 2012* mukaisesti määritetyn E-luvun eli rakennuksen kokonaisenergiankulutuksen ja rakennustyyppin perusteella. Rakennukset luokitellaan asteikolla A – G eri energiatehokkuusluokkiin. Luokan A energiatehokkuusvaatimus on kaikkein korkein. Luokitusasteikko vaihtelee rakennuksen käyttötarkoitukseluokan ja asuntotyyppin mukaan. Luokitteluasteikko on esitetty Ympäristöministeriön asetuksen 176 / 2013 liitteessä 2. Energiatodistuksen voi laatia vain pätevätoimittaja ja se on voimassa korkeintaan kymmenen vuotta.

3.4 Nolla- ja lähes nollaenergiarakennukset

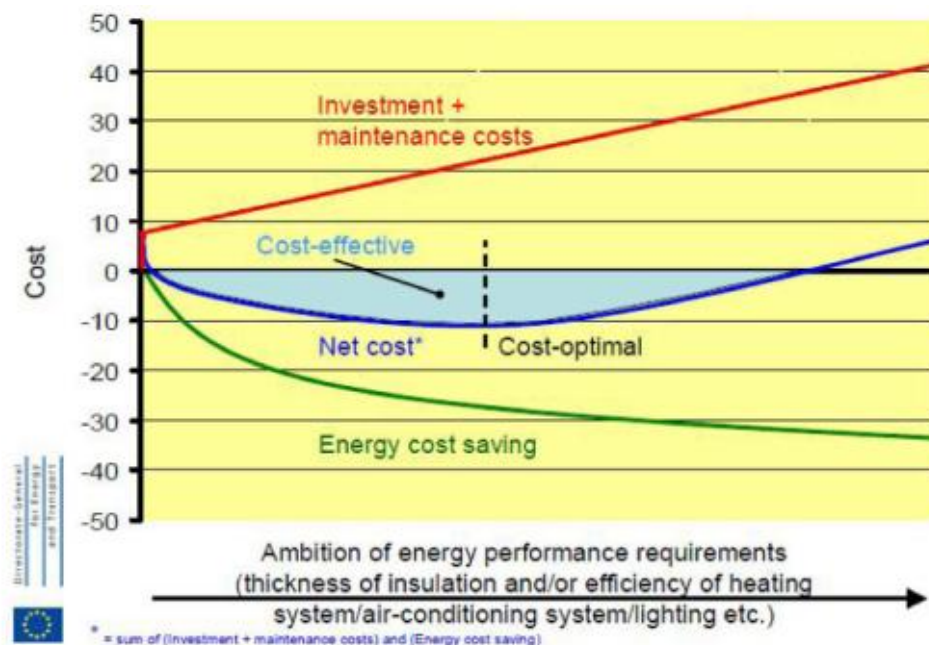
Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi vaatii, että uusien julkisten rakennusten tulee olla niin sanottuja *lähes nollaenergiarakennuksia* vuoden 2019 alusta. Vuoden 2021 alusta alkaen vaatimus koskee kaikkia uudisrakennuksia. [3] Lähes nollaenergiatalolla tarkoitetaan minimienergiarakennusta, jonka vuotuisesta energiankulutuksesta merkittävä osa katetaan rakennuksessa tai sen lähistöllä tuotetulla uusiutuvalla energialla (Kuva 16).



Kuva 16 Lähes nollaenergiarakennuksen energiataseen muodostuminen [29]

Nollaenergiataloja rakennettaessa on oletettava, että paikallisesti tuotettua omavaraenergiaa voidaan siirtää verkkoon vaikka *RakMk D3 / 2012* taserajassa (Kuva 15) sitä mahdollisuutta ei lainsäädännön puuttumisen johdosta ole kuvattu [29]. Lähes nollaenergiatalon rakennuskustannukset on optimoitu siten, että rakennuksen elinkaarikustannuksissa saavutetaan merkittävä säästö investointikustannusten pysyessä kohtuullisina.

Kuva 17 esittää kustannusoptimin määrittämisen periaatetta lähes nollaenergiatalon tapauksessa. Kuvasta voidaan havaita kuinka säästöt rakennuksen energiakustannuksissa kasvavat aluksi jyrkästi kun rakennuksen energiatehokkuutta parannetaan (vihreä viiva). Rakennuksen energiatehokkuuden kasvattaminen ei kuitenkaan lisää energiakustannussäästöjä samassa suhteessa kuin investointi- ja huoltokustannukset kasvavat (punainen viiva) ja on löydettävissä kustannusoptimi eli piste, jossa rakennuksen elinkaaren aikaiset investointi- ja huoltokustannukset ja energiakustannussäästöt (sininen viiva) saavuttavat minimin, jonka jälkeen rakennuksen energiatehokkuuden kasvattaminen ei ole enää taloudellisesti kannattavaa.



Kuva 17 Lähes nollaenergiatalon kustannusoptimin määrittäminen [30]

Kustannusoptimiin vaikuttavat tekijät vaihtelevat merkittävästi jäsenmaiden kesken ja direktiivi ei suoraan määritä absoluuttista E-arvoa ($\text{kWh} / (\text{m}^2 \text{ a})$) lähes nollaenergiatalolle vaan sen määrittäminen tapahtuu kansallisella tasolla. [30] Suomen lähes nollaenergiarakentamista koskevat suositukset ja vaatimukset uusiutuvista energialähteistä pe-

räisin olevan energian vähimmäistasosta uusissa ja saneerattavissa rakennuksissa tullaan julkaisemaan vuonna 2015 [31].

3.5 Paikallinen tuotanto

Energiantuotantomallia, jossa sähkö-, lämpö tai jäähdytysenergia tuotetaan lähellä kulutuspistettä, kutsutaan hajautetuksi energiantuotannoksi. Mikäli hajautetun tuotannon lähtökohtana ovat paikalliset resurssit kuten primääriset energialähteet, tekniset järjestelmät tai henkilöresurssit niin puhutaan usein paikallisesta energiantuotannosta tai lähien energiasta [4], [2]. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (2010 / 31 / EU) edellyttää, että vuodesta 2021 alkaen kaikki uudisrakennukset ovat lähes nollaenergiataloja, joiden energiankulutuksesta merkittävä osa tuotetaan rakennuksessa tai sen lähistöllä tuotetulla uusiutuvalla energialla [3]. Myös vuonna 2012 voimaan astuneiden rakennusten energiatehokkuus määräysten mukainen rakennusten kokonaisenergiatarkastelu ohjaa suunnittelua direktiivin viitoittamaan suuntaan, tavoitteena vähentää rakennuksiin ulkopuolelta ostetun energian määrää [4].

Rakennuksiin integroidut ja muut rakennetun ympäristön hajautetut energiajärjestelmäratkaisut ovat perinteisesti kytkeytyneet alueelliseen tai valtakunnalliseen energianjakeluverkkoon, joten rakennuksia, hajautettua tuotantoa ja energiajärjestelmää on tarkasteltava kokonaisuutena. Keskeistä on miten tämä kokonaisuus vaikuttaa energiakulutukseen ja sähkön- ja lämmön huipputehoihin. Edellytyksenä tulevaisuuden nettonollaenergiarakennuksille on energian varastointimahdollisuus tai kaksisuuntainen liityntä eri energiaverkkoihin, jotta hetkellinen sähkön tai lämmön ylituotanto voidaan syöttää varastoitavaksi tai verkkoon kulutettavaksi. [2]

3.5.1 Aurinkosähkö

Aurinkosähköä tuotetaan aurinkopaneeleilla, joilla auringon säteilyn sisältämää energiaa muutetaan sähköenergiaksi. Vaihtoehtoinen teknologia aurinkosähkön tuottamiseksi on niin sanottu keskittävä tekniikka, jossa auringon säteily heijastetaan peileillä lämmittämään keräinputken sisältämää väliainetta. Kuumentuva väliaine puolestaan höyrystää kiertovettä. Höyryn sisältämä energia muutetaan mekaaniseksi energiaksi höyryturbiinissa ja sähköenergiaksi turbiinin pyörittämällä generaattorilla. [4] Suomen

olosuhteissa markkinaehtoisesti kilpailukykyinen aurinkosähkön tuotanto ei ole vielä mahdollista. Vuoden 2012 hintatasolla tyypillisellä asuinrakennukseen integroitu aurinkosähkön tuotanto maksaa noin 0,25 €/ kWh. [2]

3.5.2 Aurinkolämpö

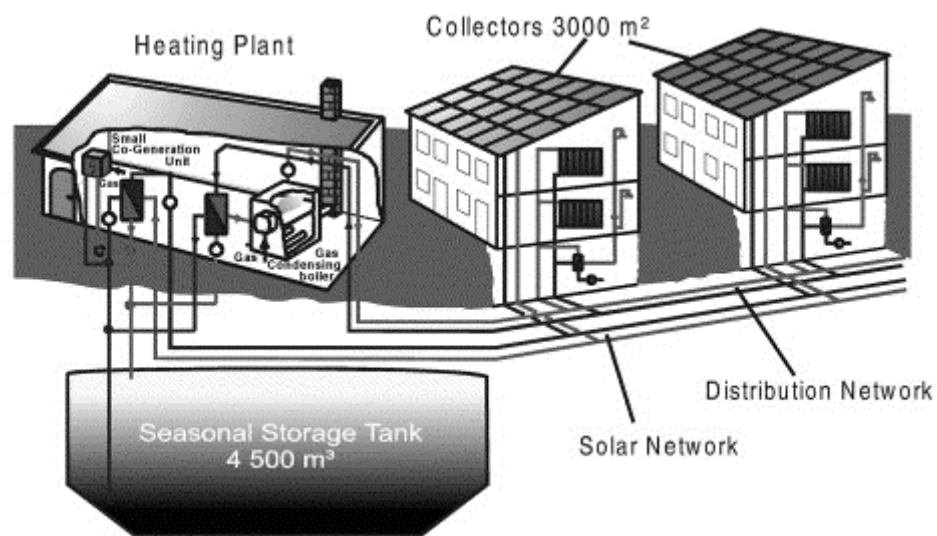
Auringon säteilyn sisältämää lämpöenergiaa voidaan hyödyntää passiivisesti sijoittamalla lämmitettäviä kohteita siten, että auringon säteily osuus suoraan lämmitettävään kohteeseen tai aktiivisesti aurinkokeräimillä. Aurinkokeräimillä auringon säteilyn energiaa muutetaan lämpöenergiaksi, joka siirretään lämmitettävään kohteeseen tai varastoon nesteen tai ilman välityksellä. [4], [32] Aurinkolämpöjärjestelmän käyttö- ja huoltokustannukset ovat hyvin pienet verrattuina vaihtoehtoihin teknologioihin. Suuret investointi- ja asennuskustannukset sekä edullinen fossiilinen energia rajoittavat kuitenkin aurinkolämpöjärjestelmän taloudellista kilpailukykyä vielä nykyisin. [33]

Aurinkolämmön hyödyntäminen etenkin pientalojen käyttöveden lämmityksessä auttaa rakennuksia saavuttamaan nettonollaenergiatason vuositasolla laskettuna. Suomen talvikuukausina, jolloin lämmön kulutus on suurimmillaan, ja auringon säteilymäärä vähäinen rakennukset tarvitsevat myös muita lämmönlähteitä. [2] Pohjois-Euroopassa aurinkolämpöä onkin pääasiassa käytetty käyttöveden lämmitykseen mitoittamalla järjestelmä tuottamaan noin puolet käyttöveden lämmitykseen tarvittavasta energiasta. Järjestelmän aurinkolämpökeräimet on perinteisesti sijoitettu katolle ja varaaja sijaitsee alempana asunnon sisätiloissa jonka johdosta lämpö on pumpattava lämpökeräimiltä varaajaan. Tyypillinen järjestelmä, jolla voidaan kattaa noin 60 % nelihenkilisen perheen käyttöveden lämmitysenergiasta, koostuu 2,8 – 4,2 kW_{th} tasokeräimistä ja 300 litran varaajasta. [33]

Aurinkolämmön tekninen potentiaali on merkittävä myös asuinrakennusten tilojen lämmityksessä. Hyvin eristetyn rakennuksen lämmönkysynnästä voidaan aurinkolämmöllä kattaa 25 % – 40 % järjestelmän koosta riippuen. Tällainen kombijärjestelmä tilojen ja käyttöveden lämmittämiseen koostuu tyypillisesti 7 - 14 kW_{th} tasokeräimistä ja 600 – 1000 litran varaajasta. [33]

Hamburgissa on vuodesta 1996 alkaen ollut toiminnassa aurinkolämpödemonstraatiokohde, jossa käytetään maahan osittain upotettua vesisäiliötä lämmön kausivarasto-

na. Aurinkolämpöjärjestelmä suunniteltiin kattamaan noin puolet 124 rivitaloasunnon vuotuisesta energiantarpeesta. Järjestelmä koostuu rivitalojen katoille asennetuista yhteisältaan 3000 m^2 aurinkolämpökeräimistä, lämpökeskuksesta, jakeluverkosta ja 4500 m^3 kuumavesilämpövarastosta. Kaasupoltin lämpökeskuksessa turvaa lämmöntuotannon huippukulutuksen aikana. Kesällä aurinkolämpö siirretään keräimiltä lämpökeskukseen josta se tarpeen mukaan siirretään jakeluverkkoon ja ylijäämä varastoidaan vesisäiliöön. Varastoidun veden loppulämpötila on säiliön yläosissa ylimmillään $85 - 95 \text{ }^\circ\text{C}$. Talvisin lämpöä otetaan varastosta ja siirretään jakeluverkon kautta asuntoihin. Asunnot liittyvät jakeluverkkoon oman lämmönvaihtimen kautta. Asunnon lämmitysjärjestelmän syöttöveden suunnittelulämpötila on $60 \text{ }^\circ\text{C}$ ja paluueden $30 \text{ }^\circ\text{C}$. Kuvassa (Kuva 18) on kyseisen järjestelmän periaatekaavio. [34]



Kuva 18 Hamburgissa sijaitsevan aurinkolämpödemonstraatiokohteen järjestelmän periaatekuva. [34]

Vuoden käytössä olon jälkeen 1997 Hamburin aurinkodemonstraatiojärjestelmä tuotti 30 prosenttia asuntojen vuotuisesta lämmitysenergiatarpeesta. Asuntoja oli silloin järjestelmässä vasta 86 ja keräinpinta-alaa 2047 m^2 . Asuntojen energian kulutus oli ensimmäisenä käyttövuotena 30 prosenttia oletettua suurempi rakennuskosteudesta johtuen. Lisäksi järjestelmän syöttö ja paluueden lämpötilat olivat $10 - 15$ astetta korkeammat mikä huononsi aurinkolämpökeräinten hyötysuhdetta merkittävästi. Laskelmien mukaan järjestelmää säätämällä aurinkolämmöllä osuus voidaan nostaa 38 prosenttiin. [34]

Suomessa kaukolämmityksen piirissä olevien kiinteistöjen aurinkolämpöpotentiaalia on tarkasteltu lähteessä [35]. Lähteen mukaan aurinkolämpöä alettaneen käyttää läh-

tökohtaisesti uudisrakennuksissa ja mittavien peruskorjausten yhteydessä. Näille koh-
teille laskettu potentiaali kahdella eri keräinalalla tarkoittaisi 100 GWh - 300 GWh
aurinkolämpötuotantoa 2020.

3.5.3 Pientuulivoima

Pientuulivoimala on määritelmän mukaan voimala, jonka propellin pinta-ala on alle
200 m². Tällä perusteella pientuulivoimalan nimellistehoteho jää käytännössä alle 50
kW:n. Pientuulivoimaloita käytetään maataloudessa, laitoksissa, kotitalouksissa ja va-
paa-ajan asunnoissa. Pientuulivoimalla tuotetaan yleensä lämmitysenergiaa tilojen ja
käyttöveden lämmitykseen tai sähköä rakennuksen verkkoon. [36]

Pientuulivoimalla on mahdollista kasvattaa rakennusten energiaomavaraisuutta ja lisä-
tä uusiutuvan energian osuutta rakennuksen energiankulutuksesta alueilla, joilla tuuli-
olosuhteet ovat tuotannolle suotuisat [36]. Kiinteistökohtainen pientuulituotanto on
myös potentiaalinen sähkö- ja hybridiajoneuvojen latausenergian lähde, koska sähkö-
ajoneuvon lataus tapahtuu tavallisesti yöaikaan, jolloin myös tuuliresurssit lisääntyvät
[37].

3.5.4 Lämpöpumput

Lämpöpumpputekniikalla voidaan tuottaa lämpöenergiaa siirtämällä maaperään, il-
maan tai vesistöön varastoitunutta auringon energiaa rakennuksen tiloihin tai käyttö-
veteen. Lämpöpumppuja voidaan käyttää myös tilojen jäähdytykseen [4]. Lämpö-
pumppu on riippuvainen sähköstä ja sen hyötysuhde on sitä parempi mitä pienempi
lämpötilaero on lämmönlähteen ja lämmönluvituksen välillä. Pääosin investointikus-
tannusten pienentämiseksi lämpöpumput on usein mitoitettu kattamaan noin 60 %
maksimilämmitystehon tarpeesta [38]. Tällä periaatteella mitoitettujen lämpöpumppu-
järjestelmien sähköenergiankulutus kasvaa huomattavasti silloin kun lämmöntarve on
suurin. [2]

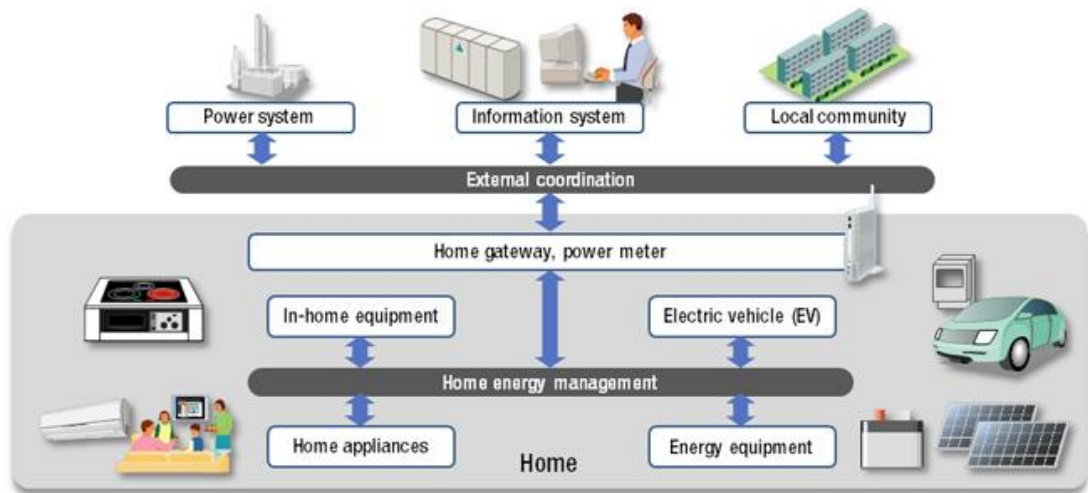
Maalämpö soveltuu hyvin pientalojen energialähteeksi ja se on jo nykyisin myös ta-
loudellisesti kannattavaa [2]. Tilastokeskuksen mukaan Suomessa maalämpö oli
30700 rakennuksen lämmitysvaihtoehto vuonna 2012, näistä pientalojen osuus oli 95

%. Tilastoon ei kuitenkaan sisälly ilman luvanvaraista peruskorjausta tehdyt lämmitystavan muutokset, joten määrä on todennäköisesti jonkin verran suurempi [7]. Lähde [39] esitti maalämpöpumppujen määräksi 40000. Kaiken kaikkiaan erilaisilla lämpöpumpuilla tuotetaan Suomessa energiaa noin 4 TWh vuodessa, jonka tuottamiseen lämpöpumput kuluttavat sähköä noin 1,4 TWh [38].

Mikäli kaikki öljyn lämmityskäyttö Suomessa voitaisiin korvata lämpöpumpuilla, potentiaalia on noin 8 TWh. Energiansäästöpotentiaalia lämpöpumpuille löytyy myös suorasähkölämmitteisistä taloista, joiden lämmittämiseen kuluu sähköä noin 14 TWh vuodessa. [38] Korvaamalla suorasähkölämmitystä ilmalämpöpumpulla voidaan säästää noin 20 % säästö pientalon sähkönkulutuksessa [39]. Koko energiasäätöjärjestelmän energiatehokkuuden ja sähkönkulutushuippujen kannalta myös suorasähkölämmitystä olisi suotavampaa korvata maalämpöpumpuilla kuin ilmalämpöpumpuilla, joiden hyötysuhde laskee nopeammin kylmissä olosuhteissa [38].

3.6 Energianhallintajärjestelmät

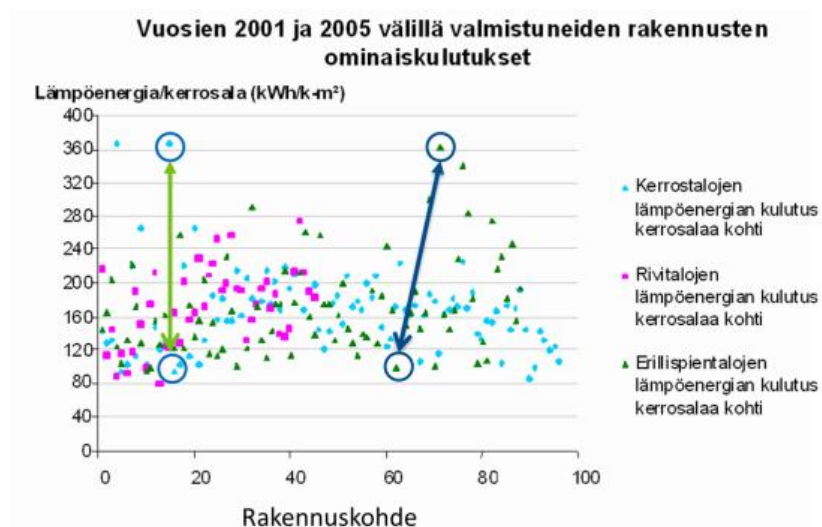
Energianhallintajärjestelmien (Kuva 19) avulla pyritään säästämään energiaa sekä hyödyntämään optimaalisesti paikallinen tuotanto ja energiavarastot sisäilmanlaadusta tinkimättä. Järjestelmä tarkkailee ja optimoi rakennuksen energiankulutusta, -tuotantoa ja -käyttöä. Järjestelmän avulla käyttäjä voi saada tietoa energiakulutuksestaan ja käyttötottumuksistaan sekä ohjata keskitetysti rakennuksen energiasäätöjärjestelmää. Energianhallintajärjestelmä voi pienentää energiankulutusta esimerkiksi sammuttamalla tarpeettomasti päällä olevat kulutuslaitteet sekä antamalla ohjeita miten sähkönkäyttöä voitaisiin tehostaa. Järjestelmä voi myös aktiivisesti ajoittaa kodin sähkökuormia kuten lämpöpumppuja, pesukoneita ja kuivaajia ajankohtaan, jolloin paikallinen tuotanto on huipussaan.



Kuva 19 Kodin energianhallintajärjestelmä ja sen rajapinnat
[<http://www.hitachi.com/products/smartcity/solution/hems/index.html>]

3.7 Rakennusten käyttö

Rakennuksen suunniteltu käytönaikainen energiatehokkuus voidaan saavuttaa vain, mikäli rakennusta huolletaan ja käytetään oikealla tavalla. Energiatehokas rakennus voi kuluttaa merkittävästi suunniteltua enemmän energiaa kuin olisi, mikäli sitä käytetään suunnitelmista poikkeavalla tavalla. Erityisesti asuinrakennusten lämmitysenergian kulutus riippuu voimakkaasti asukkaan toiminnasta. Saman ikäisen ja teknisiltä ominaisuuksiltaan samanlaisen asuintalon erot lämmitysenergian kulutuksessa voivat olla 4 -5 kertaisia (Kuva 20). [30] [2]



Kuva 2. Rakennusten lämpöenergiankulutus vaihtelee merkittävästi asukkaiden käyttäytymisestä johtuen. Lähde: Boström et. al. 2012

Kuva 20 Asuinrakennusten lämmitysenergiankulutuksen vaihtelu

3.8 Jäähdytystarve

Suomessa rakennusten jäähdytyksen energiankulutus verrattuna niiden lämmitystarpeeseen ei ole vielä merkittävää. Ilmaston lämpeneminen, rakennusten lämpöeristyksen ja tiiveyden kasvu sekä lisääntyvä laitesähkön käyttö voivat yhdessä kasvattaa tilojen jäähdytysenergian tarvetta tulevaisuudessa. Uudet palvelurakennukset varustetaan koneellisella jäähdytyksellä ja myös asuinrakennuksissa jäähdytys lisääntyy merkittävästi koska rakentamismääräykset vaativat välttämään liiallisia ylilämpöjä ja asukkaiden vaatimustaso kasvaa. Jäähdytysenergian tarpeen arvioidaan kasvavan 2,4 TWh vuonna 2020 ja 5,5 TWh vuonna 2050. [15]

Laskelman mukaan, jossa kaikkiin uusiin asuinrakennuksiin asennettaisiin ilmastointi tai lämpöpumppu jota käytetään kesäisin jäähdytykseen ja olemassa olevassa asuinrakennuskannasta jälkiasennukset lisääntyisivät 2,5 prosenttia vuodessa niin se merkitsisi 5 prosentin kasvua kotitalouksien sähkönkäyttöön vuonna 2050. [40] [2]

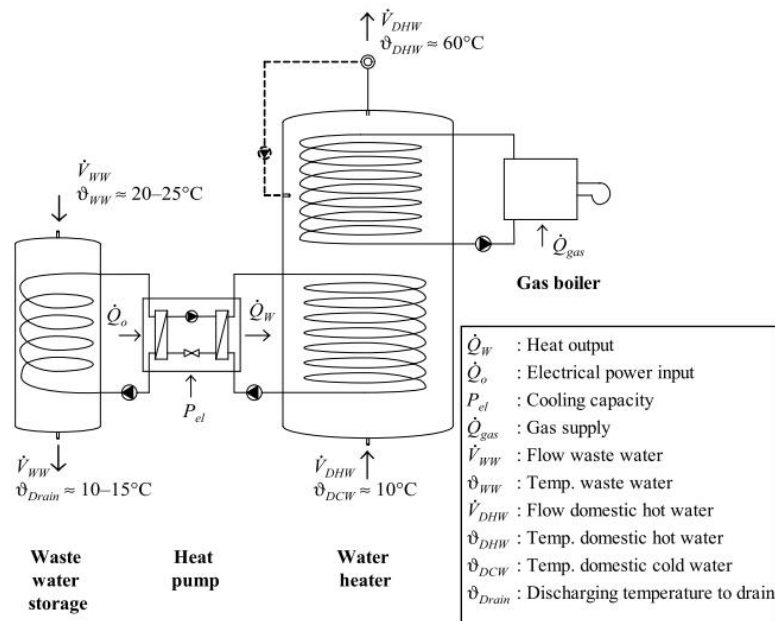
3.9 Rakennuskohtainen jäteveden lämmön talteenotto ja käyttö

Kotitalouksissa käyttöveden lämmitykseen kuluu tyypillisesti 10 – 25 % koko lämmitysenergiasta, ja lämpimän käyttöveden keskimääräinen kulutus on 35 - 50 l / asukas / vrk [41]. Tämän lisäksi astioiden- ja pyykinpesukoneet käyttävät energiaa veden lämmitykseen. Näin ollen kotitalouksien harmaavesien mukana siirtyy päivittäin suuri määrä lämpöenergiaa viemäriverkostoon. Jäteveden lämpötila viemäriverkostossa on keskimäärin 10 – 15 astetta ympäri vuoden ja kesäisin jopa 20 astetta. Talvikuukausina jäteveden lämpötila putoaa noin 10 asteeseen. Jäteveden suhteellisen korkea lämpötila talvikuukausia lukuun ottamatta mahdollistaa hyvähyötysuhteisen lämmöntalteenoton lämpöpumppua käytettäessä [42].

Keskitettyjä lämpöpumpputeknologiaan perustuvia jäteveden lämmöntalteenottolaitoksia on ollut käytössä Keski-Euroopan ja Skandinavian maissa 1980 –luvulta alkaen. Keskitettyssä lämmön talteenotossa suuri osa jäteveden lämmöstä siirtyy viemäriä ympäröivään maaperään veden siirtyessä putkistossa laitokselle. Rakennuksen sisäisellä jäteveden lämmön talteenotolla lämpöhäviötä voidaan merkittävästi pienentää.

Lisäksi jäteveden lämpötila rakennuksen sisällä pysyy keskimäärin 23 -26 asteessa, mikä puolestaan kasvattaa lämpöpumppujärjestelmän hyötysuhdetta ja kustannustehokkuutta. [42]

Eräs ehdotettu lämpöpumpputeknologiaan perustuva rakennuskohtainen jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmä, jota käytetään lämpimän käyttöveden valmistamiseen, on esitetty kuvassa (Kuva 21). Järjestelmään koostuu rakennuksen sisälle asennetuista jätevesisäiliöstä (5 m³), lämminvesivaraajasta (5 m³) ja näiden väliin kytketystä lämpöpumppujärjestelmästä (24 kW) sekä lämminvesivaraajaan kytketystä kaasuboilerista. Jätevedestä otetaan lämpöpumpulla lämpöä, jolla esilämmitetään lämminvesivaraajaan tuleva kylmä käyttövesi 45 asteeseen. Kaasuboilerilla käyttöveden lämpötila nostetaan lopulliseen 60 asteeseen. Järjestelmää simuloitaessa lämpöpumpun hyötysuhde (COP) oli 5.5 ja sillä tuotettiin 48 prosenttia vuotuisesta lämpimän käyttöveden energian tarpeesta, joka oli tutkituissa kohteissa 991,2 kWh/(a henkilö). [42]



Kuva 21 Lähteessä [42] esitelty rakennuskohtainen jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmä

4 Lämpövarastot

Lämpövarastojen (Thermal Energy Storage TES) arvioidaan olevat eräs keskeinen komponentti tulevaisuuden energiatehokkaissa järjestelmissä [43]. Lämpö- ja kylmävarastoilla voidaan lisätä joustoa kysynnän ja tuotannon välille mikä kasvattaa hajautetun tuotannon ja uusiutuvan energian teknistä potentiaalia. Lisäksi tuottamalla lämpöä varastoon kulutushuippujen ulkopuolella voidaan saavuttaa myös taloudellisia säästöjä ja vähentää kulutusta sekä päästöjä [33], [44]. Lämmön varastointi voi perustua myös latentti- tai termokemiallisen lämmön varastointiin. Termisen energian varastointitekniikat on usein luokiteltu lämpötilan (matala-, keski-, korkealämpötila), varastointiajan (pitkä-, lyhytaikainen) tai sijoituspaikan (maalais-, maanpäälliset varastot) mukaan. [44] Lyhytaikaisia lämpövarastoja käytetään vuorokauden sisäisten huippukuormien hallinnassa ja pitkäaikaisia varastoja käytetään mm. hukkalämmön ja vuodenajan vaihtelusta johtuvien kuormanmuutosten hallinnassa, jolloin puhutaan jo useista viikoista tai kuukausista. Lyhytaikaiseen varastointiin on kiinteistöissä tavallisesti käytetty kuumavesivaraajia ja pidempiaikainen varastointi on tapahtunut suuriin maan päällisiin säiliöihin tai erilaisiin maalaisiin varastoihin. [44]

4.1 Tuntuvalämmön varastointi

Energian varastointi tuntuvalämpönä on ollut perinteisin tapa varastoida energiaa kiinteistö ja teollisuusympäristöissä. Tuntuvalämmön kausivarastointi on suhteellisen yksinkertaista ja edullista verrattuna muihin energian kausivarastointi vaihtoehtoihin. Tuntuvalämmön varastointi perustuu lämpövarastona toimivan aineen lämpötilan kasvattamiseen. Varastoitu lämpömäärä Q (kWh) määrittyy aineen ominaislämpökapasiteetista c (J / (kgK)) varastointilämpötilassa, energiavarastona käytetyn materiaalin massasta m (kg) ja energiavaraston lämpötilasta $T_{varasto}$ (°C) sekä ympäristön lämpötilasta T_{ymp} (°C) kaavan 1 mukaisesti. [45], [46]

$$Q=c \cdot m \cdot (T_{varasto}-T_{ymp}) \quad (1)$$

Tuntuvalämmön TES -sovelluksiin käyttökelpoisella materiaalilla tulisi olla korkea ominaislämpökapasiteetti tilavuusyksikköä kohti, hyvä lämmönjohtavuus ja sen tulisi olla myös edullista [47]. Taulukko 7 esittää eräiden yleisten tuntuvalämmön varastointiin soveltuvien materiaalien tiheys-, lämmönjohtavuus- ja ominaislämpökapasiteettiarvot.

Taulukko 7 Eräiden matalalämpövarastomateriaalien ominaisuuksia [46]

	Tiheys kg/m ³	Lämmönjohtavuus W/(mK)	Ominaislämpökapasiteetti kJ/(kgK)
Vesi 0 °C	999,8	0,562	4,217
Vesi 20 °C	998,3	0,5996	4,182
Vesi 50 °C	988,1	0,6405	4,181
Vesi 100 °C	958,1	0,6803	4,215
Graniitti	2750	2,9	0,89
Karkea soramaa	2040	0,59	1,84
Savimaa	1450	1,28	0,88
Betoni	2400	2,1	1

Vesi soveltuu hyvin tuntevanlämmön varastointiin sen korkean ominaislämpökapasiteetin ja lämmönjohtavuuden ansiosta. Lisäksi vesi on edullista, myrkytöntä ja helposti saatavilla. Näiden ominaisuuksien johdosta tuntevaa lämpöä on perinteisesti varastoitu veteen mutta sen muista ominaisuuksista johtuen sen käyttöalue rajoittuu kuitenkin pääasiassa sovelluksiin lämpötila-alueella 0 - 100 °C. Lämmitessään vesi laajenee ja sen ominaispaino alenee. Ilmiön seurauksena vesilämpövarastoissa vesi pyrkii kerrostumaan lämpimän veden noustessa varaston yläosiin ja kylmemmän veden pysyessä tai laskeutuessa vastaavasti lämpövaraston alaosiin. Vesivarastoihin voi muodostua useita eri lämpötilojen mukaisia kerroksia. Vesilämpövarasto luovuttaa ja vastaanottaa energiaa sitä paremmin mitä korkeampi lämpötilaero kerrosten välillä on ja mitä selvempi termokliini eli lämpötilan harppauskerros on. Veden sekoittuminen tankissa voi myös heikentää esimerkiksi aurinkolämpöjärjestelmän hyötysuhdetta merkittävästi siinä tapauksessa kun lämpövarastosta keräimille palaavan veden lämpötila ei ole riittävän alhainen. Veden sekoittumista varastossa voidaan ehkäistä erilaisilla lämmönvaihdin ratkaisuilla, säiliögeometriallla sekä varaston osastoimisella. [48]

Maaperän kiviainekseen tai kallioon voidaan varastoida tuntevaa lämpöä huomattavasti korkeammassa lämpötilassa kuin vesivarastojen ollessa kyseessä. Lämmönvaihto voidaan suorittaa nesteen tai ilman välityksellä kallioon asennetuista kanavista tai putkista. Vesivarastoon verrattuna on kallio- tai muun kiviainelämpövaraston energiatheys matala. Tämän johdosta tarvitaan saman lämpömäärän varastoimiseksi noin kolminkertainen tilavuus kuin veteen perustuvissa tuntevan lämmön varastoissa. Käyttä-

mällä sora/hiekka-vesi –seosta saadaan energiatiheyttä kasvatettua jonkin verran mutta se jää silti noin puoleen saman tilavuuden vesivarastoon verrattuna. [45]

Artikkelissa [47] on esitetty menetelmä, jolla voidaan arvioida materiaalin soveltuvuutta lämmön varastointiin kustannusten, lämmönvarastointi- ja mekaanisten ominaisuuksien perusteella. Menetelmää sovellettiin artikkelissa potentiaalisen materiaalin löytämiseksi tuntuvan lämmön kausi- ja lyhytaikaiseen varastointiin lämpötilassa 150 – 200 °C. Menetelmässä rajattiin aluksi materiaalivaihtoehtoja vaatimuksena maksimaalinen energiatiheys ja lämmönjohtavuus yli 1 W / mK, jonka jälkeen rajoitteiksi asetettiin alin toimintalämpötila 150 °C ja yksikköhinta enintään 5 €/ kg. Seuraavaksi materiaaleille määritettiin ominaislämpökapasiteetin ja yksikköhinnan suhteeseen perustuva indeksi. Lopuksi menetelmässä tutkitut materiaalit jaoteltiin vielä lämmönvarastoinnin yksikkökustannuksen ja mekaanisen lujuuden perusteella. Lisäksi lyhytaikaiseen varastointiin soveltuville materiaaleille asetettiin rajoitteiksi korkea energiatiheys, hyvä lämmönläpäisevyys ja alin maksimaalinen toimintalämpötila 150 °C. Näillä perusteilla jaoteltuina erityisesti suola (NaCl) ja erilaiset betonit näyttäisivät olevan kustannustehokkaita materiaaleja tuntuvan lämmön kausivarastointiin toimintalämpötila-alueen 150 – 200 °C niissä tapauksissa joissa materiaalin mekaaninen lujuus ei aseta rajoituksia sovellukselle.

4.1.1 Rakennusten terminen massa

Kiinteistöjen rakenteiden termistä massaa voidaan myös hyödyntää tuntuvaan lämmön varastointiin. Kasvattamalla rakennuksen vaipan termistä massaa voidaan vähentää tilojen jäähdytykseen ja lämmitykseen tarvittavaa energiaa, parantaa sisäilman laatua sekä tasata kulutushuippuja [49]. Rakennuksen termisellä massalla tarkoitetaan rakennukseen integroituja materiaaleja, joilla on korkea lämmönvarastointikapasiteetti ja jotka tehokkaasti voivat hyödyntää passiivisesti auringon energiaa tilojen lämmityksessä ja jäähdytyksessä. Yleisesti käytettyjä korkean termisen massa omaavia rakennusmateriaaleja ovat betonielementit, tiili- ja keraamiset rakenteet. Termisen massan hyödyntäminen voi olla myös aktiivista, jolloin lämpöä varastoidaan rakenteisiin mekaanisesti ilman tai nesteen välityksellä.

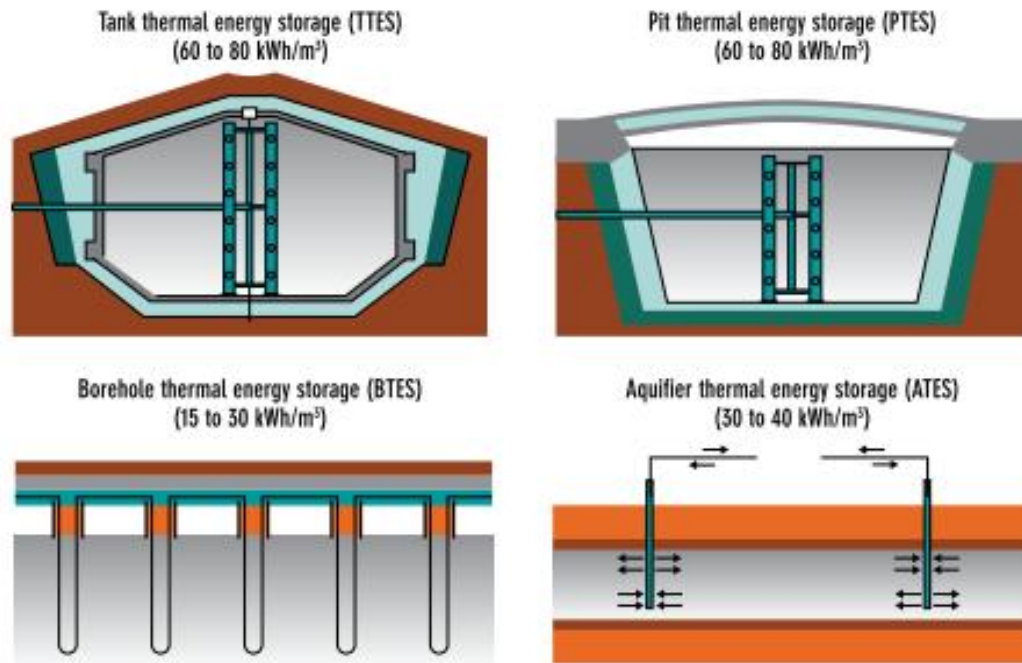
Raportissa [49] on esitetty simulointitulokset nollaenergiarakennuksen lämpö- ja jäähdytyskuormille sekä sisälämpötilan käyttäytymiselle rakennuksen termisen massan vaihdellessa. Simuloinnissa rakennuksen kuoren termisen massan muodostivat erivahvuiset betonielementit, faasimuunnosmateriaali (PCM Phase-change Material) tai kevyt hyvin eristetty seinärakenne. Simulointi tehtiin vuoden yli Toronton ilmastossa. Tulokset osoittivat, että lisäämällä rakennuksen termistä massaa vuosittaiset lämpökuormat alenivat 5 - 7 % ja jäähdytyskuormat 8 - 15 % verrattuna kevytrakenteiseen hyvin eristettyyn rakenteeseen. Lisäksi havaittiin, että sisälämpötilan vaihtelu pieneni merkittävästi kun rakenteen termistä massa kasvatettiin. Tutkimuksessa simuloitiin lämpö- ja jäähdytyskuormia myös eristetason ja termisen massan funktiona. Kaikissa tapauksissa eristetason kasvattaminen pienensi lämpökuormia mutta kasvatti jäähdytyskuormia.

Tutkimuksessa [21] simuloitiin termisen massan vaikutusta matalaenergiapientalon lämmitysenergian kulutukseen Suomen ilmastossa. Rakentamismääräysten tasoisesti rakennettujen rakennusten välillä rakenteen massiivisuudella ei havaittu merkittävää vaikutusta energiankulutukseen. Termisesti massiivisen standardirakennuksen energiankulutusta lisäsi enemmän ikkunoiden g-arvon alentaminen kuin rakenteen massiivisuuden pienentäminen. Matalaenergiarakennusten välillä termisen massiivisuuden vaikutus oli vielä vähäisempää kuin rakennusmääräysten mukaisesti rakennettujen mutta ikkunoiden g-arvon alentaminen kasvatti ominaiskulutusta selvästi enemmän kuin rakennusmääräysten tasoisen rakennuksen tapauksessa.

4.2 Lämmön kausivarastot

Lämmön kausivarastoinnissa lämpöä on varastoitava useita kuukausia esimerkiksi vuoden ajan vaihtelusta johtuvien lämpökuormien tasaamiseksi. Tuntuvan lämmön kausivarastointitarkoituksessa onkin tavallisesti käytetty hyvin eristettyjä suuria kuumavesivarastoja. Kuumavesivaraston tilavuuden kasvattaminen kasvattaa myös varaston tilavuus/pinta-ala suhdetta, jonka seurauksena suhteelliset lämpöhäviöt pienenevät. Noin kuuden kuukauden aikavakio voidaan saavuttaa kun varaston tilavuus on 1000 m^3 tai suurempi. [46]

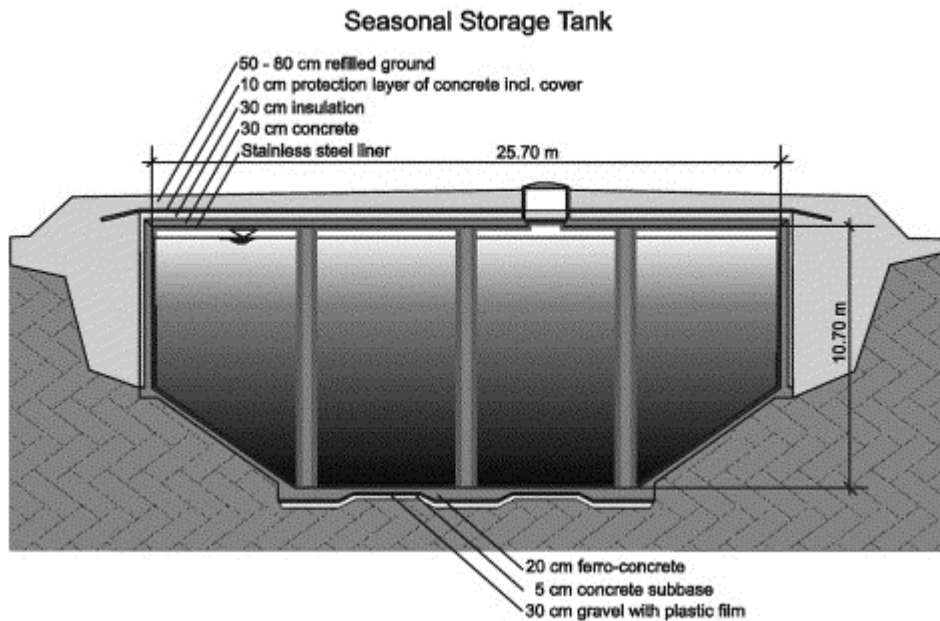
Seuraavassa on lyhyesti esitelty neljä maailmanlaajuisesti käytettyä tuntuvanlämmön kausivarastointitapaa (Seasonal Thermal Energy Storage STES), jotka soveltuvat esimerkiksi vuodenajan vaihtelusta johtuvien lämpökuormien tasaamiseen. Lisäksi jokaisesta esitellystä STES –tyypistä on esitetty yksi toteutettu sovellus. Esitellyt menetelmät ovat säiliölämpövarasto TTES, kuoppalämpövarasto PTES, porareikälämpövarasto BTES ja pohjavesilämpövarasto ATES. Maanalaisissa (Underground Thermal Energy Storage UTES) menetelmissä lämmön kausivarastoina voivat toimia esimerkiksi maaperä, kallio, sora tai pohjavesikerrostuma ja ne perustuvat joko suljettuun kiertoon, jossa lämpö pumpataan lämmönvaihtimien kautta maaperään (BTES) tai avoimeen kiertoon, jossa pohjavettä pumpataan maaperästä ja syötetään sinne takaisin lämmitettynä (ATES). Tavallisimmat neljä STES -menetelmää ja niiden rakenneperiaatteet on esitetty kuvassa alla (Kuva 22).



Kuva 22 Tuntuvan lämmön varastointitapoja veteen ja maaperään [33]

Suuret **säiliölämpövarastot** (Tank Thermal Energy Storage **TTES**) valmistetaan tavallisesti betonista, teräksestä tai lasikuituvahvisteisesta muovista. Betonirakenteisen säiliön vesi- ja höyrytiiveys varmistetaan tavallisesti tankin sisäpitoihin asennettujen ruostumattomien teräslevyjen avulla. Säiliövarastoissa on tavallisesti ulkopuolinen lämpöeristys. Säiliö voi olla upotettu osittain tai kokonaan maahan. Kokonaan maapinnan yläpuolelle sijoitettuja säiliövarastoja käytetään tavallisesti puskurivarastoina ja ne ovat tilavuudeltaan kausivarastoja merkittävästi pienempiä. Säiliövarasto voi olla paineistettu tai paineistamaton, jolloin varaston korkein käyttölämpötila noin 95 °C. [50], [45]

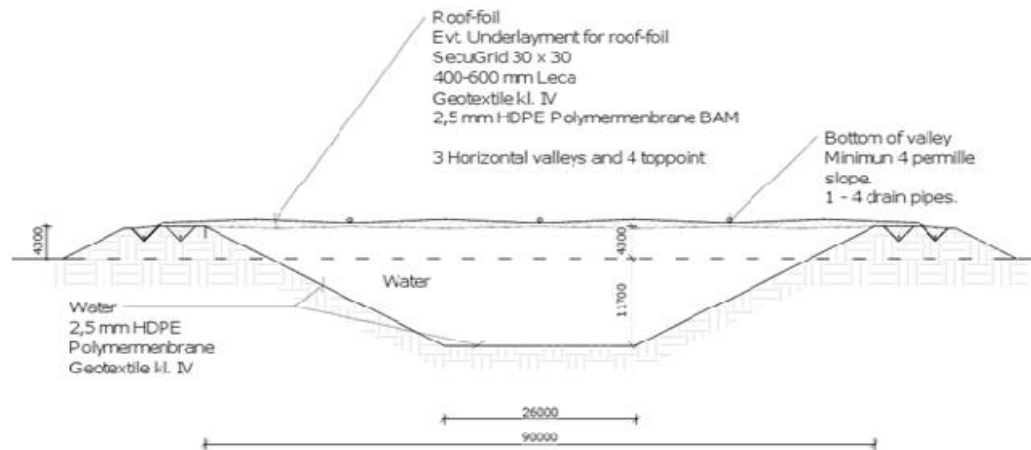
Hampurissa on vuodesta 1996 lähtien ollut toiminnassa rivitaloalueen aurinkoavusteisen kaukolämmityksen demonstraatiokohde, jossa suurta säiliövarastoa käytetään lämmön kausivarastona. Energiajärjestelmän laskennallinen aurinko-osuus on 49 %. Säiliön rakenne on esitetty kuvassa (Kuva 23). Säiliön tilavuus on 4500 m³ ja se on osittain upotettu maan sisälle. Säiliön betoniseinien sisäpuolta vasten on ruostumaton teräslevy ja ulkopuolella on muovikalvo ja mineraalivillaa 20 – 30 senttimetriä lämpöeristeenä. Säiliön kansi muodostuu vastaavanlaisesta rakenteesta ja se lepää pilarien varassa. [34]



Kuva 23 Hampurissa sijaitsevan rivitaloalueen aurinkoavusteisen kaukolämpöjärjestelmän kausilämpövarastosäiliön rakenne [34]

Suuri lämpövarasto voidaan rakentaa myös ilman varsinaisia kantavia seinärakenteita maahan kaivettuun kuoppaan (Pit Thermal Energy Storage **PTES**), jonka pohja ja reunat on vuorattu eristyksellä sekä vesi- ja höyrytiiviillä materiaalilla. Kuoppalämpövaraston kannen on oltava myös lämpöä ja vesihöyryä hyvin pidättävä ja se muodostaa tämän varastotyyppin kalleimman rakenneosan. Käytettäessä vettä lämmön varastointiin kansi on tyypillisesti kelluva. Mikäli lämpöä varastoidaan vesi/sora/hiekka – seokseen, voi kansirakenne olla seinärakenteen mukainen. Varastointilämpötila PTES –menetelmää käytettäessä on maksimissaan 80 – 90 °C riippuen käytettyjen materiaalien ominaisuuksista. [50], [45]

Tanskassa on toteutettu useita veteen perustuvia lämmönkausivarastoja PTES –menetelmällä [50]. Etelä-Tanskassa Marstalin kunnassa on käynnistynyt vuonna 2010 SUNSTORE 4 –projekti, jossa olemassa oleva aurinkoavusteinen kaukolämpöjärjestelmä päivitetään 100 % uusiutuviin energialähteisiin perustuvaksi järjestelmäksi. Lämpöjärjestelmän aurinkoenergian osuus tulee olemaan 55 % ja paikallisella biomassalla tuotetun energian osuus on 45 %. Järjestelmän lämmön kausivarastona toimii tilavuudeltaan 75000 m³ **PTES**, jonka poikkileikkaus on esitetty kuvassa alla (Kuva 24). [51]

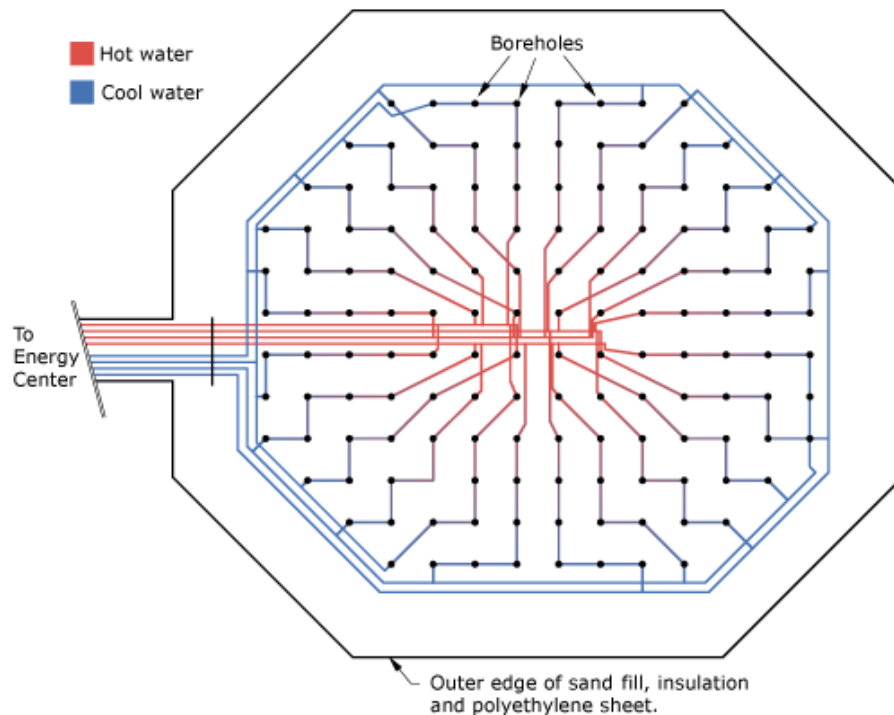


Kuva 24 Poikkileikkauskuva Tanskassa PTES -menetelmällä toteutetusta lämmön kausivarastosta. Varaston tilavuus on 75000 m³ ja se toimii 100 % uusiutuviin energialähteisiin perustuvan kaukolämpöjärjestelmän lämmön kausivarastona. [50]

Porareikälämpövarasto BTES perustuu suljettuun kiertoon ja se hyödyntää geologisesti soveltuvaan maaperää lämpövarastona. Porareikälämpövarasto muodostuu tyypillisesti pystysuuntaisista 30 – 100 metrin syvyyksistä maahan poratuista rei'istä ja niihin asennetuista sarjaan ja rinnankytketyistä lämmönvaihtimina toimivista putkista sekä putkistossa kiertävästä lämmönsiirtonesteestä. Lämmönvaihtimena toimivia putkityyppejä ovat U, tupla U – ja konsentrinen. Lämpöä viedään maaperän lämpövarastoon pumppaamalla lämmennyt neste lämmönvaihtimiin, josta se siirtyy johtumalla maaperään. Lämpöä otetaan lämpövarastosta kääntämällä virtaus putkistossa vastakaissuuntaiseksi. Porareikien alhaisesta tehonsiirtokyvystä johtuen porareikälämpövarasto tarvitsee usein rinnalleen puskurina toimivan säiliövaraston toimiakseen tehokkaasti. Lämpötila kerrostuu porareikävarastossa vesivarastoista poiketen horisontaalisesti. Porareikävaraston yläpuoli on tavallisesti eristetty lämpöhäviöiden alentamiseksi. [50]

Kanadan Albertassa on ollut toiminnassa vuodesta 2007 lähtien 52 energiatehokkaan pientalon asuinalue (Drake Landing solar community). Asuinalue on ensimmäinen maailmassa, jonka energiajärjestelmän aurinko-osuudeksi on suunniteltu yli 90 % kylmissä ilmasto-olosuhteissa. Alueen kaukolämmitysjärjestelmän kausivaraston koko on noin 34000 m³ ja se on toteutettu **BTES** –menetelmällä. Kuvassa (Kuva 25) on esitetty lämpövaraston rakenne. Lämmön kausivarasto koostuu 144:stä 35 metriä syvästä porareikästä ja niihin sijoitetuista U-putki lämmönvaihtajista. Lämmitysjärjestelmässä on lyhytaikaisena puskurilämpövarastona 240 m³ vesisäiliövarasto, joka kytkee kausivaraston ja jakeluverkon toisiinsa. Aurinkolämpökeräinten ala on yhteensä 2293 m² ja

lämpökeräimet on asennettu asuntokohtaisten autotallien katoille. Viidentenä toimintavuotenaan ajanjaksolla 2011-2012 järjestelmän mitattu aurinko-osuus oli 97 %. [52]

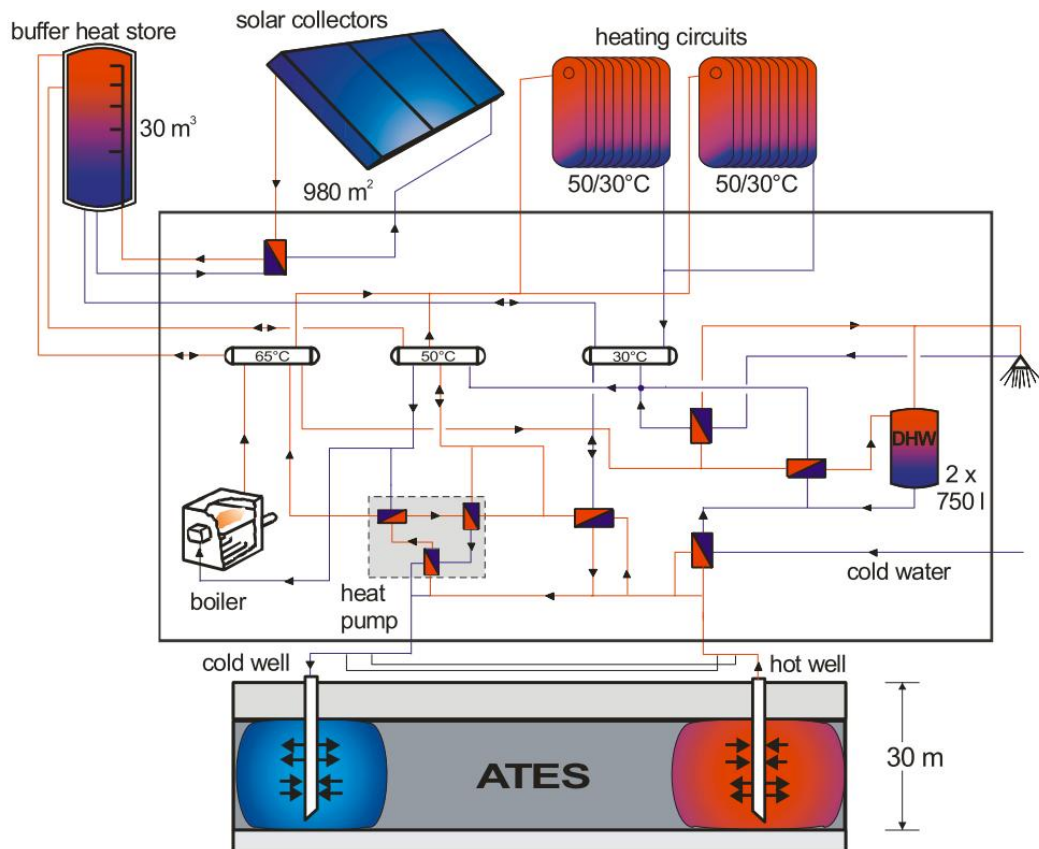


Kuva 25 Kanadassa sijaitsevan pientaloalueen aurinkokaukolämpöjärjestelmän kausivarastona toimivan porareikälämpövaraston rakenne, varasto on tilavuudeltaan 34000 m^3 , halkaisijaltaan 35 metriä ja se koostuu 24 rinnankytketystä säikeestä, joissa kaikissa on kuusi porareikälämmönvaihtajaa kytketty saraan eli yhteensä 144 noin 35 metriä syvästä porareikästä [53]

Pohjavesilämpövarasto (Aquifer thermal energy storage **ATES**) voidaan muodostaa hyödyntämällä geologisesti ja kemiallisesti soveltuvaa maanalaista pohjavesikerrostumaa lämmön varastointiin. ATES -menetelmä perustuu avoimeen kiertoon ja vaatii toimiakseen vähintään kaksi riittävän etäälle toisistaan sijoitettua lämpökaivoa. Kaivoista toinen on kylmäkaivo ja toinen toimii lämpökaivona. Lämmönvarastointi tapahtuu siten, että kylmäkaivosta pumpattu vesi lämmitetään ja syötetään lämpökaivoon. Varastoitu lämpö puolestaan otetaan käyttöön lämpökaivosta ja jäähtynyt vesi palauteaan kylmäkaivoon. ATES -menetelmää käytetään usein jäähdytyssovelluksissa ja yli $50 \text{ }^\circ\text{C}$ lämpötiloissa ATES -menetelmällä tulee kannattavaksi kun varastotilavuus on yli 20000 m^3 ja varaston pinta-alatilavuussuhde on suotuista. [50], [45]

Saksan Rostockissa otettiin käyttöön vuonna 2000 Saksan ensimmäinen keskitetty aurinkolämpödemonstraatiokohde, jossa on lämmön kausivarastointi on toteutettu ATES -menetelmällä. Kohde on 108 asunnon kiinteistö, jonka lämmitetty ala on 7000 m^2 . Energiajärjestelmä (Kuva 26) suunniteltiin siten, että aurinkoenergia kattaa puolet tilo-

jen ja käyttöveden lämmitystarpeesta. Kolmen vuoden käytön jälkeen aurinkosuudeksi mitattiin 49 %. Lämpöjärjestelmään sisältyvä ATES muodostuu kahdesta 55 metrin etäisyydellä olevista lämpökaivoista, jotka on porattu kiinteistön alapuolella 15 - 30 metrin syvyydessä olevaan pohjavesiesiintymään. Aurinkolämpökeräimiltä lämpö viedään ensin 30 m³ säiliölämpövarastoon josta ylijäämä pumpataan kausivarastoon korkeintaan 50 °C lämpötilassa. [54]



Kuva 26 Rostockin aurinkolämpödemonstraatiokohteen lämpöjärjestelmän periaatekuva [54]

Raportissa [45] on taulukoitu myös muita Euroopassa toteutuneita veteen perustuvia tun-
tuvan lämmön kausivarastointiprojekteja, joissa vesi on varastoitu erilaisiin säiliöihin.
Järjestelmät ovat hyvin erilaisia ja siitä syystä laskennalliset aurinkolämmönsuudet
vuosienergiasta kyseisissä ratkaisuissa vaihtelevat 16 – 49 % välillä.

4.2.1 Lämpövarastojen lämpöhäviöt

Kuumavesisäiliövaraston lämpöhäviöt syntyvät pääosin lämmön johtumisena säiliön vaipasta ympäristöön. Johtumislämpöhäviöt ovat suoraan verrannolliset säiliön vaipan pinta-alaan sekä säiliön vaipan ja ympäristön väliseen lämpötilaeroon. [46] Suuret vesisäiliövarastot on perinteisesti eristetty ympäristöstään paksulla lasivilla- tai polyuretaanieristyksellä ja haudattu osittain tai kokonaan maan alle johtumislämpöhäviöiden pienentämiseksi. Säiliövaraston hautaamista puoltavat usein myös tilankäytölliset seikat. Liitteessä (LIITE 3) on esitetty lähteen [46] mukainen kuumavesisäiliövaraston johtumislämpöhäviöiden laskeminen.

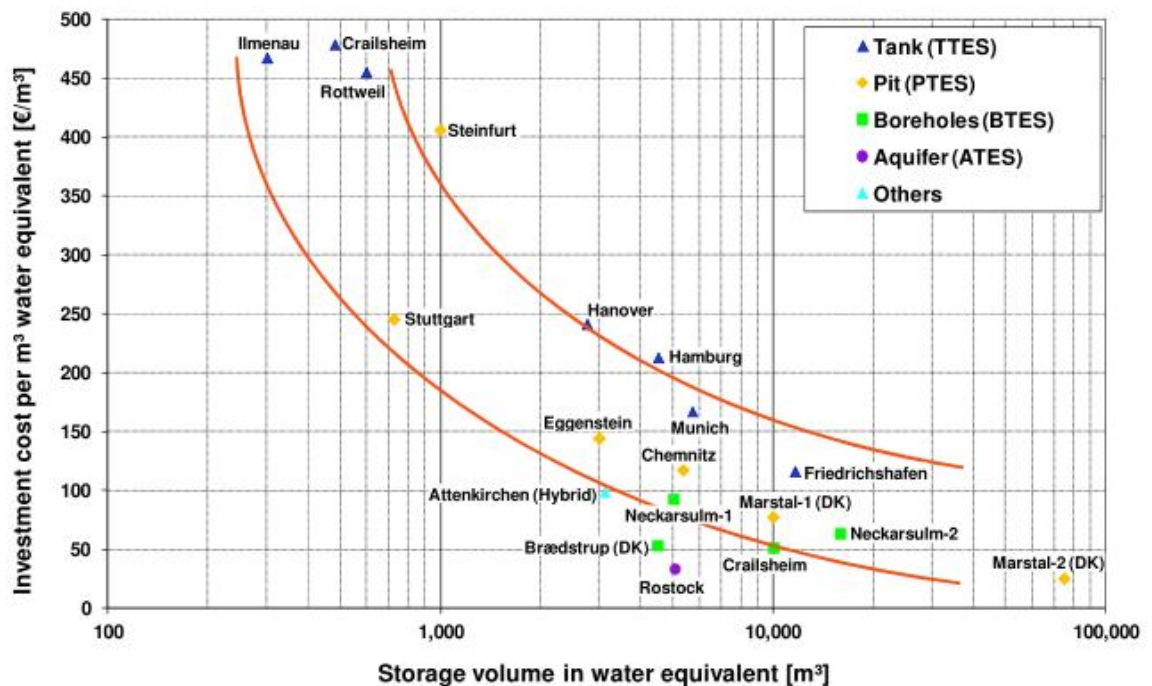
Lämpöhäviöitä voi syntyä myös vesihöyryn diffuusiona betonirakenteisen säiliön vaipan läpi. Tällöin vaarana on myös säiliön ulkopuolisen eristyksen kostuminen, mikä puolestaan kasvattaa eristeen lämmönjohtavuutta ja siten myös johtumislämpöhäviöitä. Betonirakenteisen säiliön diffuusiosta johtuvien lämpöhäviöiden pienentämiseksi voidaan säiliön sisäseinät ja kansi päällystää teräs- tai polyeteenilevyillä tai käyttää vaihtoehtoisesti suuritiheyksistä erikoisbetonia. Säiliölämpövarastojen rakenteen ja sopivien eristysmateriaalien löytämiseksi on tehty paljon tutkimusta. Saksassa Ilmenaun yliopistossa on kehitetty muun muassa erityinen säiliölämpövarastoihin tarkoitettu seinärakenne lasikuituvahvisteisesta muovista johon on integroitu myös lämpöeriste. [45]

Säiliölämpövarastojen lämpöhäviöihin voidaan vaikuttaa säiliön erilaisilla eriste- ja säiliömateriaaleilla ja rakenteilla. Veden kerrostumisen optimoinnilla voidaan mahdollisesti myös pienentää varastoinnin lämpöhäviöitä. [45] Tavallisesti materiaalien ominaisuudet muuttuvat ikääntymisen seurauksena. Olettamalla materiaalien lämmönjohtokyky ja vesihöyryn läpäisevyysindeksi vakioiksi johtaa tavallisesti väärään lopputulokseen arvioitaessa lämmönvarastoinnin lämpöhäviöitä. Monien pilotti- ja tutkimusprojektien kasvaaneet lämpöhäviöt voivat pääosin olla seurausta eristemateriaalien kostumisesta kun säiliönvaippa ei ole pystynyt pidättämään kosteuden siirtymistä tarkoitetulla tavalla. [43]

4.2.2 Kausivarastojen investointikustannukset

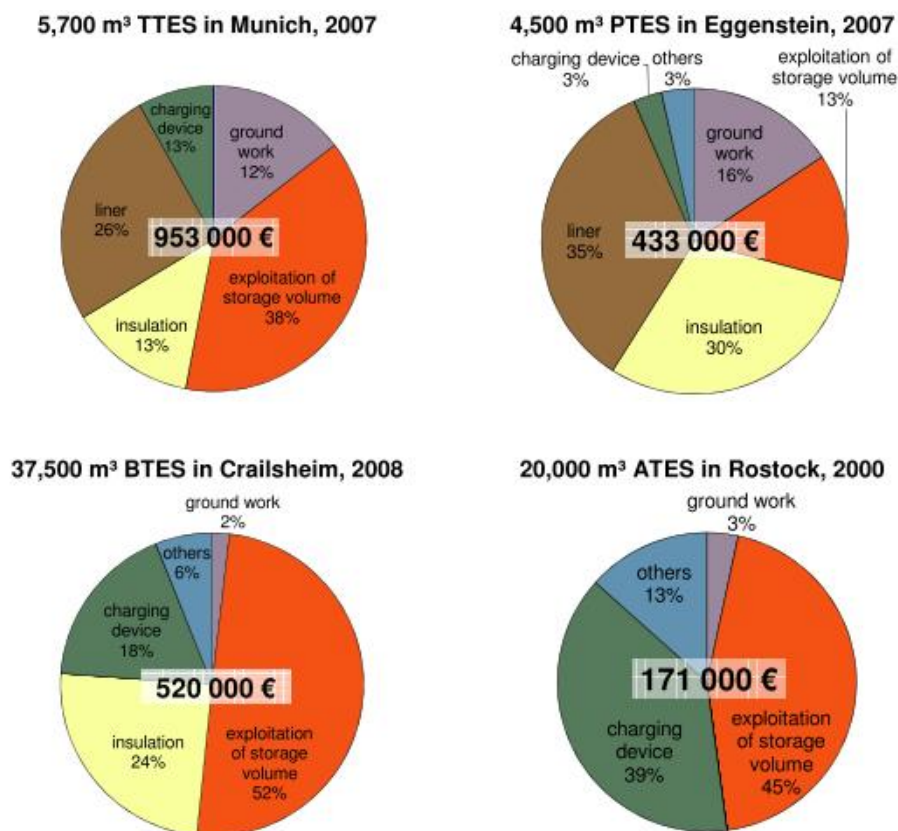
Lämmön kausivaraston rakennuskustannukset riippuvat merkittävästi käytetystä varastointimenetelmästä. Lämmönkausivarastointimenetelmä on aina tapauskohtainen ja se optimoidaan kyseessä olevaan sovellukseen paikalliset olosuhteet ja rajoitteet huomioiden. Lämpövaraston kokonaistaloudellisuus riippuu lämpövaraston investointikustannusten lisäksi lämpövaraston suorituskyvystä ja siihen kytketystä järjestelmästä. [50]

Tavallisesti kuumavesilämpövaraston suhteelliset investointikustannukset alenevat kun lämpövaraston kapasiteetti kasvaa mikä on selvästi nähtävissä kuvasta (Kuva 27), joka esittää Saksassa ja Tanskassa rakennettujen demonstraatiokuumavesilämpövarastojen toteutuneita ominaisinvestointikustannuksia ($\text{€}/\text{m}^3$). Kausivaraston tilavuuden ollessa vähintään 2000 m^3 tai yli niin toteutuneet ominaisinvestointikustannukset ovat olleet välillä $40 - 250 \text{ €}/\text{m}^3$. Selvästi kalleimmaksi vaihtoehdoksi on tullut rakentaa säiliölämpövarasto TTES, jonka kustannukset ovat olleet kaikissa esitetyissä tapauksissa yli $100 \text{ €}/\text{m}^3$. Kuoppalämpövaraston PTES perustaminen on keskimäärin ollut toiseksi kallein ratkaisu. Edullisimmaksi kausivarastointimenetelmäksi on osoittautunut esitettyjen demonstraatiokohteiden tapauksissa porareikälämpövarasto BTES ja pohjavesilämpövarasto ATES. [50]



Kuva 27 Demonstraatiokohteiden kuumavesilämpövarastojen toteutuneita investointikustannuksia, kustannukset eivät sisällä arvonnäkökulmaa [50]

Kuvassa (Kuva 28) on esitetty yhden TTES-, PTES-, BTES- ja ATES -menetelmällä toteutetun lämmönkausivaraston toteutuneiden rakennuskustannusten muodostuminen. Kustannukset on jaettu viiteen luokkaan; maa- / perustustyöt (ground work), varaston rakenteet (exploitation of storage volume), eristäminen (insulation), vesitiiviys (liner), varauslaitteisto (charging device) ja muut kustannukset (others). Kuvasta nähtävissä, että varsinaisen varastotilavuuden rakentaminen muodostaa pääosan suhteellisista kustannuksista (38 – 52 %) kaikissa muissa paitsi kuoppalämpövarastossa PTES, jossa sen osuus on vain 13 %. Toisaalta taas eristämisen ja vedeneristysmaton osuudet (30 % ja 35 %) kustannuksista ovat suhteellisesti korkeimmat PTES –menetelmää käytettäessä. Rakenteellisesti kallein menetelmä varaston tilavuuteen suhteutettuna on TTES, jossa varastorakenteisiin liittyvien kustannusten osuudeksi on tullut 63,33 €/m³. Varastotilavuuden ottaminen käyttöön BTES- ja ATES –menetelmillä toteutetuilla on maksanut esiteityissä tapauksissa 7,20 €/m³ ja 3,85 €/m³. [50]



Kuva 28 Neljän eri menetelmällä toteutetun lämmönkausivaraston rakennuskustannusten muodostuminen ilman suunnittelukustannuksia ja arvonlisäveroa [50]

Taulukko (Taulukko 8) esittää erilaisten lämpövarastojen ominaisuudet, hintatason vuonna 2011 sekä oletetun kustannuskehityksen vuoteen 2020 tultaessa. Taulukosta voidaan nähdä, että lämpökapasiteetiltaan parhaita varastointitapoja ovat latenttilämpöön ja termokemialliseen reaktioon perustuvat varastot. Kustannusten odotetaan myös alenevan suhteellisesti eniten näihin perustuvissa varastointiteknikoissa.

Taulukko 8 Lämpöenergian eri varastointitapojen ominaisuuksia ja asennuskustannusten oletettu kehitys vuoden 2011 tasosta vuoteen 2020 mennessä [33]

Teknologia	Kapasiteetti kWh/t	Teho kW	Hyötysuhde %	Varastointi-aika	Hinta €/kWh	kust. kehitys 2020 mennessä
Kuumavesisäiliö	20 - 80	1-10000	50-90	päivä->vuosi	0,08-0,10	-20 %
Kylmävesisäiliö	10-20	1-2000 500-	70-90	tunti->viikko	0,08-0,10	-20 %
Pohjavesivarasto > 40° C	5-10	10000	50-90	päivä->vuosi		-15 %
Porareikävarasto > 40° C	5-30	100-5000	50-90	päivä->vuosi		-15 %
Latenttilämpö (PCM)	50-150	1-1000	75-90	tunti->viikko	10-50	-30 %
Jäävarasto	100	100-1000	80-90	tunti->viikko	5-15	-20 %
Termokemiallinen	120-150	1-100	75-100	päivä->vuosi	8-40	-35 %

4.3 Latenttilämpövarastot

Latenttilämpövarasto (Latent heat thermal storage LTS) voi tarjota tuntuvaalämpöä tehokkaamman tavan varastoida lämpöenergiaa [45]. Latenttilämpöä voidaan varastoida faasimuutosmateriaalien (Phase Change Materials PCMs) avulla, jotka sitovat tai vapauttavat energiaa faasin muutoksessa. Faasinmuutosmateriaaleilla on mahdollista varastoida suuria lämpömääriä pienellä lämpötilaerolla koska PCM:n faasin muutos tapahtuu vakio lämpötilassa. Faasinmuutoslämpöjä ovat höyrystymis-, sulamis- ja sublimoitumislämpö. Latenttilämpövarastoissa faasin muutos tapahtuu useimmiten kiinteän ja nesteen välillä. Kaupallisia PCM –lämpövarastoissa käytettyjä faasimuutosaineita ovat parafiinit, suolojen hydraatit ja suolojen eutektiset hydraatit. Kylmävarastoissa käytetään yleisesti vettä ja suolojen vesiliuoksia. Suolojen varauskyky on hyvä mutta haittapuolena on liuoksen vanheneminen, jonka seurauksena varasto menettää varauskykyään käytössä. Lisäksi metallien korroosio on ongelma suoloja käytettäessä. Rasvahapoilla ei näitä ongelmia ole mutta niiden varauskyky on suoloja heikompi. PCM -varastojen ongelma on ollut myös materiaalien huono lämmönjohtavuus ja siitä johtuen varaston pienet lataus- ja purkausnopeudet. Grafiittikomposiittimateriaalilla seostetulla PCM:llä voidaan saavuttaa jopa satakertainen lämmönjohtavuus seostamattomaan PCM:ään verrattuna. Eri lämpötila-alueille soveltuvia kaupallisia PCM vaih-

toehtoja on olemassa jo kymmeniä. [44] Taulukossa (Taulukko 9) on eräiden latenttilämpövarastomateriaalien ominaisuuksia.

Taulukko 9 Eräiden latenttilämpövarastomateriaalien ominaisuuksia [44]

Materiaali	Toimintalämpötila °C	Lämpökapasiteetti kWh/m ³
Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	24	70
CaCl ₂ ·6H ₂ O	30	47
Parafiini	20-60	56
Lauriinihappo	46	50
Steariinihappo	58	45
Pentaglyseriini	81	59
Butyylistearaatti	19	39
Propyylipalmiaatti	19	52
Na ₂ S·H ₂ O	50 - 100	500

Rakennusten rakenteiden termistä massaa voidaan kasvattaa integroimalla PCM:a rakennuksen seinien sisään tai muihin rakenteisiin. [49], [55] PCM –varastoja voidaan hyödyntää myös osana kiinteistöjen lämmitys- tai ilmastointijärjestelmiä energian lyhytaikaisena varastona. Vesilämpövaraston tilavuutta voidaan pienentää sen kapasiteetista tinkimättä lisäämällä PCM:a muovipalloihin kapseloituna säiliöön. Myös lattialämmitysjärjestelmän varauskykyä voidaan kasvattaa PCM:lla. Rakennussovelluksissa PCM:n toiminta-alue on yleensä 0 – 100 °C. [44]

Latenttilämpöä aktiivisesti hyödyntävät lämpövarastot voivat olla potentiaalisia menetelmiä myös lämmönkausivarastoinnissa tulevaisuudessa. Latenttilämpövaraston soveltuvuutta lämmön kausivarastointiin lämpöpumppuavusteisessa aurinkolämpöjärjestelmässä (Solar Heat Pump Heating System with Seasonal Latent Heat Thermal Storage SHPH–SLHTS) on numeerisesti mallinnettu ja raportoitu artikkelissa [56]. Raportin simulointitulokset antavat ymmärtää, että lämpökeräinten ja lämpöpumpun hyötysuhdetta voidaan parantaa sekä kausivaraston lämpöhäviöitä pienentää käyttämällä kidevedellistä kalsiumkloridia (CaCl₂·6H₂O) lämmön kausivarastointiin verrattuna järjestelmään, jossa käytetään vettä lämmönkausivarastointiin. Haittapuolina artikkelissa mainittiin muun muassa latenttilämpömateriaalista ja kausivaraston monimutkaisesta rakenteesta muodostuvat korkeat kustannukset.

4.4 Pientalon aurinkolämmön kausivarasto

Aurinkolämpöjärjestelmiä käytetään yleisesti lämpimän käyttöveden (LKV) lämmittämiseen pientalosovelluksissa. Järjestelmät mitoitetaan usein siten, että ne tuottavat kesällä 100 % LKV:n lämmitystarpeesta ja vuositasolla noin puolet veden lämmitykseen tarvittavasta energiasta. Näin mitoitettu aurinkolämpöjärjestelmä on usein myös taloudellisesti kannattava. Aurinkolämpöjärjestelmän mitoittaminen siten, että sillä voidaan rakennuksen kattaa ympärivuotinen LKV:n ja lämmitysenergian on mahdollista, joskaan ei vielä nykyisin taloudellisesti perusteltua. Mitoittamalla aurinkolämpökeräimet riittävän suuriksi ja varastoimalla kesäkuukausina tuotettu ylijäämäenergia riittävän suureen lämmön kausivarastoon, voidaan myös talvikuukausien lämmitysenergian tarve kattaa kokonaisuudessaan aurinkoenergialla.

Seuraavassa esimerkissä arvioidaan karkeasti tarvittava aurinkokeräinpinta-ala, vesilämpövaraston kapasiteetti sekä tilavuus, jotta pientalon ympärivuotinen LKV:n ja lämmitysenergian tarve voidaan kattaa kokonaan aurinkoenergialla. Esimerkkirakennuksena on käytetty pientaloa, jonka rakennusvaippa täyttää nykyiset rakennusten energiatehokkuusmääräykset D3/2012. Esimerkkipientalon laajuustiedot on esitetty taulukossa (Taulukko 10). Yksinkertaistuksen vuoksi laskelmissa huomioidaan vain rakennusvaipan vuotuiset ominaislämpöhäviöt ilman kylmäsiltojen lämpöhäviöitä ja LKV:n energiantarve, jotka halutaan kattaa aurinkoenergialla.

Taulukko 10 Esimerkkipientalon laajuustiedot

Rakennuksen laajuustiedot		
Rakennustilavuus	522	rak-m3
Maanpäälliset kerrosalat yhteensä	163	m2
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	147	m2
Rakennusluokka	1	
Rakennuksen kerrosmäärä	1	
Säävyöhyke	I	
Ikkunapinta-ala 15 % maanpäällisestä kerrosalasta		
Vaipan lämpöhäviö 83 % D3/2012 vertailutasosta (lämpimät tilat)		

Lähtötiedot: aurinkokeräimet ja LKV

- Tasokeräimet, joiden hyötysuhde on 83 % ja hyötysuhdekäyrän lämpöhäviötermi $a_1=2W/(m^2K)$

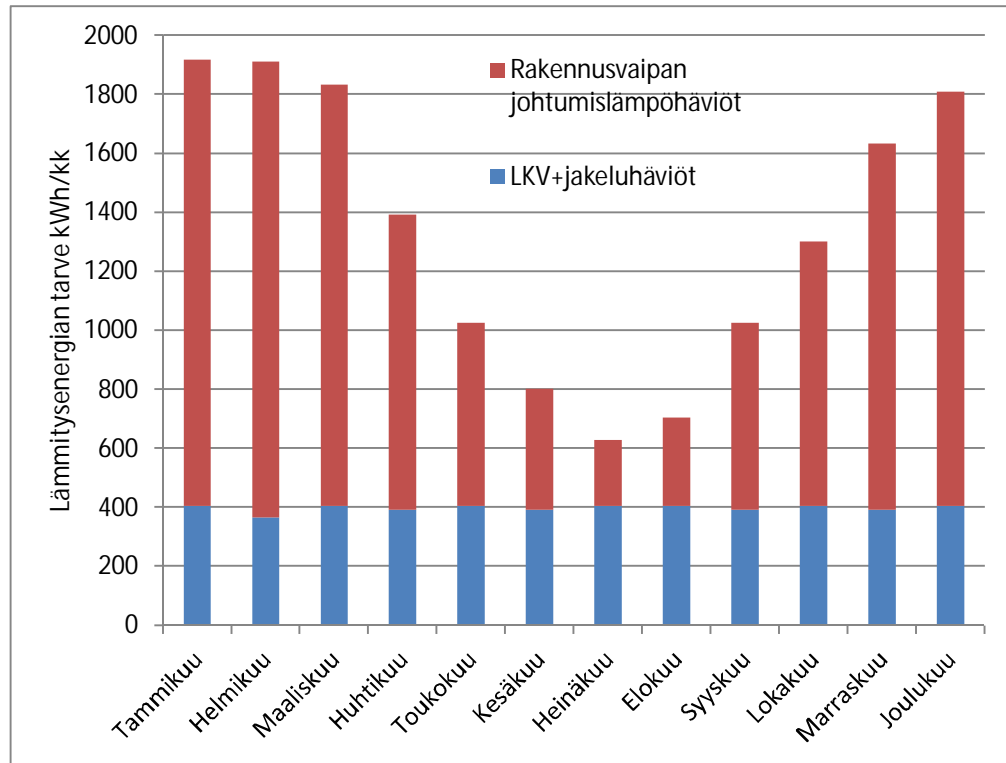
- Keräimet on suunnattu etelään ja niiden kallistuskulma on 45 astetta
- Lämpimän käyttöveden tarve on 50 l/vrk/henkilö ja laskenta tehdään vastaamaan neljän hengen kulutusta
- Lämpimän käyttöveden lämpötila on 50 astetta ja kylmän 5 astetta
- Lämpimälle käyttövedelle ei käytetä kiertojohtoa ja putkisto on eristetty perustason mukaisesti
- Keräinten tuotto käytetään suoraan LKV:n tuottamiseen ja rakennuksen johtumislämpöhäviöiden kattamiseen
 - Kun tuotanto ylittää sen hetkisen tarpeen ylijäämä viedään lämpövarastoon
 - Kun tuotanto on alijäämäinen lämpövarastosta otetaan tarvittava osuus energiasta
- Lämmön kausivarastona toimii kuumavesisäiliö, jonka tilavuus määräytyy tarvittavan varastointikapasiteetin mukaan

Lämpimän käyttöveden kuukausittainen häviötön lämmitystarve on laskettu seuraavasti:

$$200 \text{ l/vrk} * 1 \text{ kg/l} * \text{vrk lukumäärä/kk} * 4,19 \text{ kJ/kgK} * (55-5) ^\circ\text{C}$$

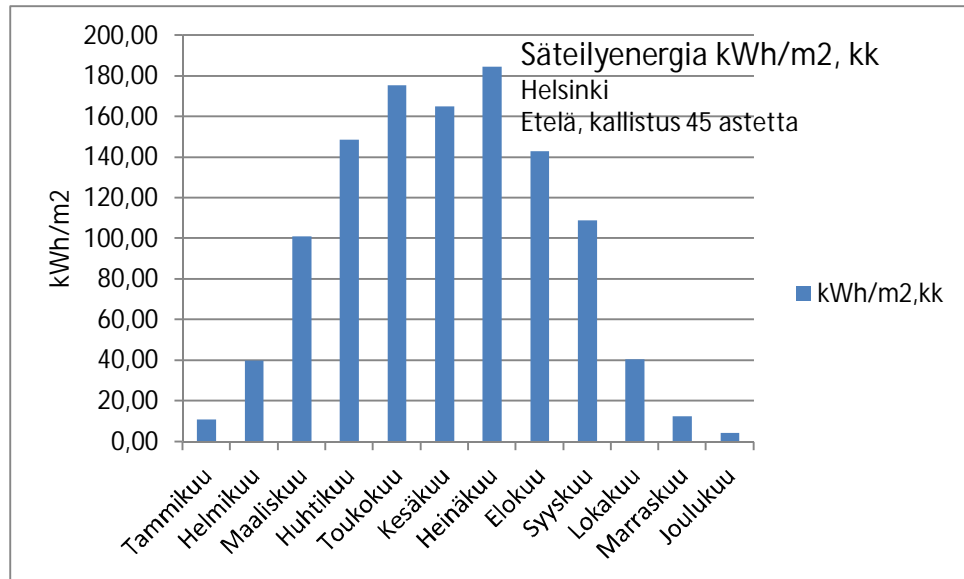
LKV:n jakelulämpöhäviöt on huomioitu kertomalla saatu häviötön lämmitystarve luvulla 1/0,89 (D5 taulukko 6.3) ja näin saatu tulos on LKV lämmitystarve.

Esimerkkiipientalolle laskettiin kuukausittaiset rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt *D5/2012 Rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta* -ohjeen mukaisesti. Kuva (Kuva 29) esittää lasketut kuukausittaiset rakennuksen vaipan ominaislämpöhäviöt ja lämpimän käyttöveden valmistukseen tarvittavat energiat. Rakennusvaipan vuotuiset johtumislämpöhäviöt ovat yhteensä 11219 kWh/a ja LKV:n energiantarve 4773 kWh/a. Energiämäärä, joka aurinkolämmöllä halutaan kattaa, on siis yhteensä 16000 kWh/a.



Kuva 29 Esimerkkirakennuksen johtumislämpöhäviöt ja LKV:n energian tarve

Esimerkkipientalon oletetaan sijaitsevan Helsingissä. Helsingissä auringon keskimääräinen säteilyenergia kuukaudessa neliometriä kohti etelään suunnatulle tasolle, jonka kallistuskulma on 45 astetta, on esitetty kuvassa (Kuva 30).



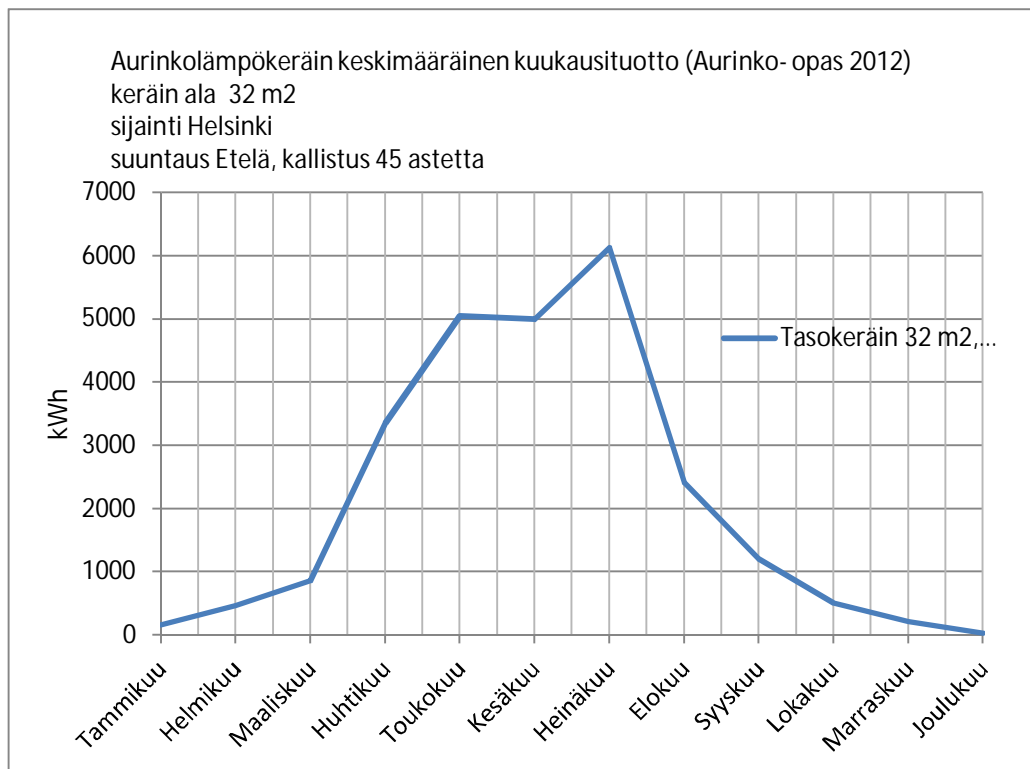
Kuva 30 Auringon keskimääräinen säteilyenergia neliometriä kohti erikuukausina Helsingissä. Etelää kohti suunnattu taso, jonka kallistuskulma 45 astetta.

Aurinkokeräimen tuotto on laskettu kuukausitasolla *Aurinko-opas 2012* – laskentaohjeen mukaisella tavalla. Opas on pääasiallisesti tarkoitettu LKV:n tuottamiseen tarkoitettun aurinkolämpöjärjestelmän mitoittamiseen mutta sitä voidaan soveltaa myös laajemmille aurinkolämpöjärjestelmille. Aurinkolämmön tuotto on laskettu seuraavilla laskentaohjeenkaavoilla:

$$Q_{tuotto,A} = c_{hyppi} (aY + bX + cY^2 + dX^2 + eY^3 + fX^3) * Q_{tarve,A}$$

- $Q_{\text{tuotto, A}}$ on aurinkolämpöjärjestelmän tuotto tarkastelujaksolla (kWh)
 $Q_{\text{tarve, A}}$ lämmöntarve, joka kohdistuu aurinkolämpöjärjestelmään (tilojen lämmitys ja käyttövesi tai pelkästään käyttöveden lämmitys) (kWh)
 c_{tyyppi} varaajatyypin korjauskerroin. Varaajatyypin korjauskertoimena tässä kansallisessa menetelmässä käytetään aina $c_{\text{tyyppi}} = 1$.
a, b, c, d, e, f myös varaajatyypistä riippuvia korjauskertoimia. Tässä kansallisessa laskentamenetelmässä katettaville järjestelmille
 $a = 1,029$
 $b = -0,065$
 $c = -0,245$
 $d = 0,0018$
 $e = 0,0215$
 $f = 0$
X, Y X on häviöt/tarve –suhde ja Y on tuotto/tarve –suhde.

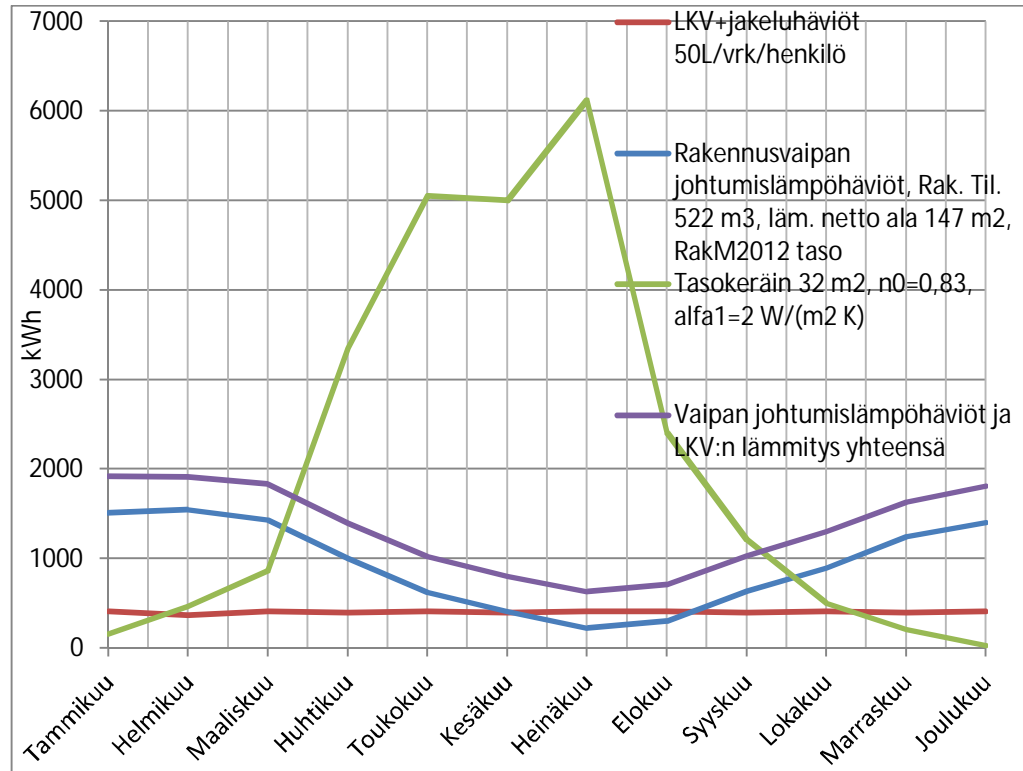
$$X = \frac{A \cdot U_c \eta_{\text{kierro}} \Delta T \cdot t_h c_{\text{cap}}}{Q_{\text{tarve, A}}}$$



Kuva 31 Tasokeräimen 32 m² keskimääräinen kuukausituotto

Kuvaajassa (Kuva 32) on esitetty esimerkkipientalon rakennusvaipan kuukausittaiset johtumislämpöhäviöt ja LKV:n lämmitysenergian tarve yhteensä verrattuna 32 m² aurinkolämpökeräimen arvioituun kuukausittaiseen tuottoon. Teoriassa, kuten kuvasta voidaan havaita, että 32m² keräinalalla, jonka oletettu hyötysuhde on 0,83 voidaan

tuottaa osa lämpöenergiasta vuoden kaikkina kuukausina ja touko-kesäkuun välisenä aikana tuotanto on yli kaksinkertainen tarpeeseen nähden. Kuukausittainen aurinkolämpökeräimillä tuotettu energia ja rakennuksen lämmöntarve sekä energiatase on esitetty taulukossa (Taulukko 11). Vuositaseeksi tulee 9376 kWh/a.



Kuva 32 Esimerkkiopintalon lämpöenergian nettotarve ja 32 m² aurinkolämpökeräimen keskimääräinen tuotto kuukausittain

Taulukko 11 Esimerkin kuukausittainen aurinkolämpötuotto ja rakennuksen vaipan lämpöhäviöt ja LKV energiantarve (kWh)

	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touko	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu	yhteensä
Keräin tuoto	160	463	865	3350	5048	4999	6126	2409	1208	504	211	25	25368
Vaippa ja lkv	-1918	-1911	-1834	-1392	-1026	-803	-630	-705	-1027	-1302	-1634	-1810	15993
Tase	-1758	-1449	-969	1958	4022	4196	5496	1704	181	-798	-1424	-1785	9376

Taulukossa (Taulukko 11) esitetystä kuukausittaisesta energiataseesta nähdään, että on varastoitava 8183 kWh energiaa talvikuukausien tuotantovajeen kattamiseksi ja että kesäaikaista ylituotantoa on 9376 kWh. Näillä oletuksilla 32 m² keräinala riittää tuottamaan tarvittavan energiamäärä tuotantovajeen kattamiseksi mutta varastoinnin hävi-

öitä kompensoimaan jää ainoastaan 1193 kWh. Mikäli varastointi kuumavesivarastoon ja luovutus varastosta takaisin käyttöön olisi toteutettavissa siten, että prosessin kokonaishyötysuhde on vähintään 0,87 niin silloin varastoitavan energian tarve olisi juuri 9376 kWh ja kesällä tuotettu ylijäämä voisi riittää kattamaan talvikuukausien aikaisen vajeen. Tarvittava kuumavesivaraston tilavuus voidaan laskea seuraavalla kaavalla (D5/2012 kaava 3.18).

$$Q_{lkv, netto} = \rho_v c_{pv} V_{lkv} (T_{lkv} - T_{kv}) / 3600$$

$Q_{lkv, netto}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve, kWh
ρ_v	veden tiheys, 1000 kg/m ³
c_{pv}	veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/(kg K)
V_{lkv}	lämpimän käyttöveden kulutus, m ³
T_{lkv}	lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
T_{kv}	kylmän käyttöveden lämpötila, °C
3600	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi, s/h

Mikäli varastoinnissa käytetään lämpötilaeroa 50 astetta ja varaston kapasiteetiksi valitaan 10000 kWh, niin tarvittavaksi säiliötilavuudeksi saadaan 171 m³.

5 Espoon T3-alue

Pohjoismaiden suurin innovaatiokeskittymä, jossa tiede, talous ja taide (T3) yhdistyvät sijoittuu Espoon Otaniemi, Keilaniemi ja Tapiolan alueelle. Espoon kaupunki on ilmoittanut alueen myös Euroopan komission toteuttamaan iCapital -kilpailuun, jossa kilpaillaan Euroopan innovaatiopääkaupungin arvonnimestä. [57]

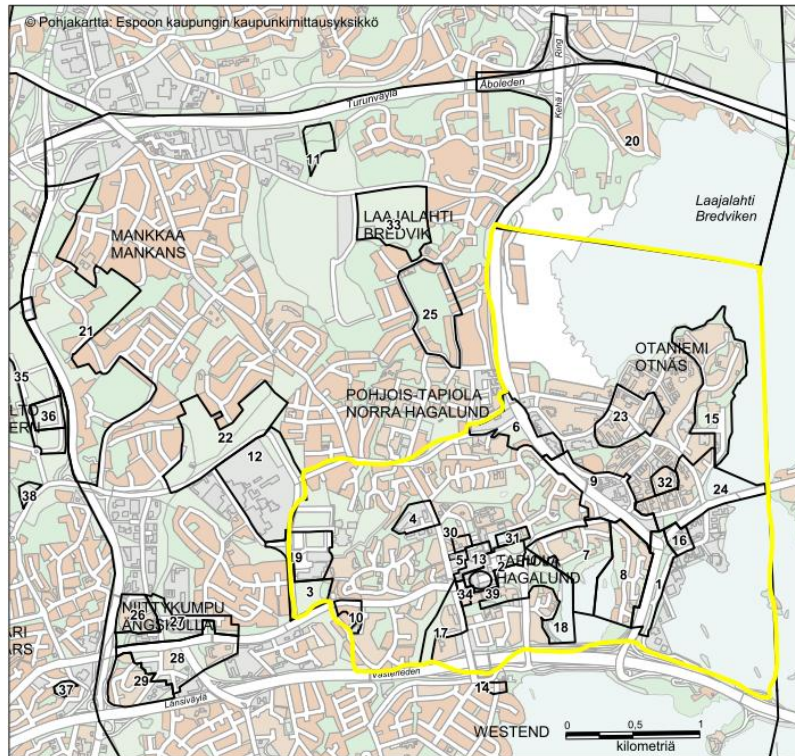
Espoon kaupungin päämäärä on kehittää Otaniemi-Keilaniemi-Tapiola kokonaisuutta tieteen, taiteen ja talouden monipuolisena keskittymänä ja puutarhamaisena asuinalueena [58]. Lisäksi alueella on käynnissä kehitysohjelmia rakennetun ympäristön huippuosaamisen osalla. Strategisen huippuosaamisen keskittymän RYM Oy:n käynnistämässä Energizing Urban Ecosystems (EUE) –ohjelmassa haetaan toimintamalleja ja ratkaisuja kaupungistumisen tuomiin haasteisiin. Ohjelman tavoitteena on luoda ratkaisukonsepteja rakennetun ympäristön energiankäytön, innovaatiotoiminnan ja liikumisen alueilla alue- ja kaupunkisuunnitteluun. Espoon T3-alue, erityisesti Keilaniemi toimii eräänä EUE -ohjelmassa luotujen konseptien simulointi-, mallinnus- ja testialueista. [59] Alueen voimakkaaseen kehittymiseen tulee osaltaan vaikuttamaan myös vuoden 2015 loppupuolella liikenteen aloittava [60] Länsimetro, jonka seitsemästä uudesta asemasta kolme sijaitsee T3-alueella.

Keilaniemestä on muodostumassa kestävä kehityksen mallikaupunginosa, joka tarjoaa ainutlaatuisen asuin- ja työympäristön ihmisille ja innovaatioalustan alueen yrityksille [61]. Keilaniemeen nousee tulevaisuudessa 26 -kerroksinen 111 metriä korkea Keilaniemi Tower toimistotalo [62] sekä neljä yli 30 -kerroksista asuintornitaloa, joiden yhteinen kerros-ala tulee olemaan noin 80000 kem² [58]. Kuvassa (Kuva 33) on mallinnettu näkymä Keilaniemestä tulevaisuudessa. Olemassa olevien rakennusten lisäksi kuvassa keskellä näkyvät suunnitteilla olevat neljä ovaalin muotoista asuintornitaloa sekä vasemmalla näkyvä Keilaniemi Tower toimistotalo. Uudisrakentamista on lisäksi odotettavissa Otaniemeen kun siellä sijaitseva kampus tulee laajenemaan koko Aalto-yliopiston pääkampukseksi taideteollisen ja kauppakorkeakoulun toimintojen siirtyessä kokonaan tai osittain Otaniemeen. [63]



Kuva 33 Mallinnettu näkymä tulevaisuuden Keilaniemestä Länsiväylältä päin nähtynä
[\[http://aineistopankki.espoo.fi/?cart=346-deakaikka&l=FI\]](http://aineistopankki.espoo.fi/?cart=346-deakaikka&l=FI)

T3 –alue koostuu Espoon Suur-Tapiolaan kuuluvien Otaniemen, Keilaniemen ja Tapiolan keskuksen muodostamasta alueesta. Tässä työssä Tapiolan keskuksen osuuden rajaa pohjoisessa Kalevalantie, lännessä Koivu-Mankkaan tie ja etelässä Länsiväylä. Otaniemeen kuuluvat Keilaniemen, Keilarannan ja Teekkarikylän osa-alueet. Kuvassa (Kuva 34) on esitetty työssä käytetty T3 –alueen aluerajaus. Kuvassa näkyvät myös työn kirjoitushetkellä vireillä olevat asemakaavat. T3 –alueen Kaavoitettu pinta-ala on noin 4,4 km².



Kuva 34 Työssä käytetty T3 –alueen rajaus [Espoon kaupunkisuunnittelukeskus, yleiskaavayksikkö]

5.1 Väestö

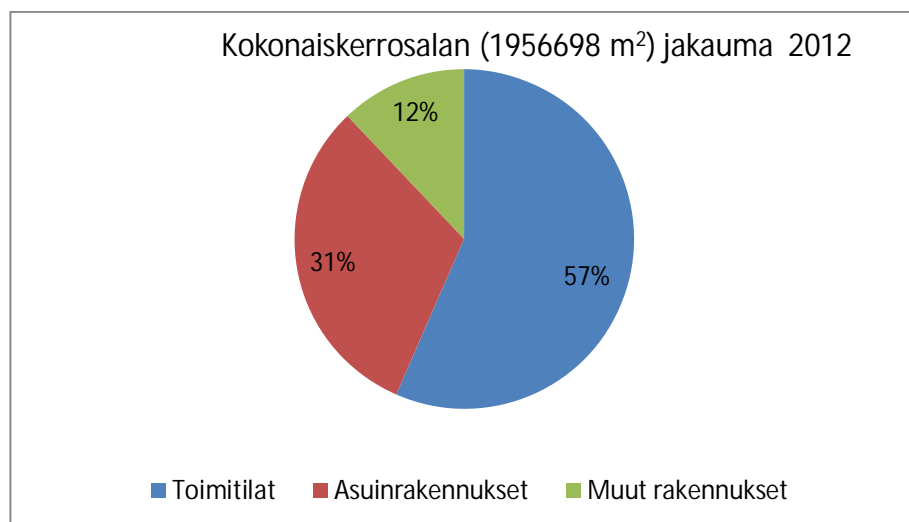
T3 –alueeseen sisältyvillä Tapiolan keskuksen (211), Länsikorkeen (212), Otsolahden (213), Pohjois-Tapiolan (215) ja Otaniemen (222) oli alueella oli 9742 asutokuntaa vuonna 2012 [aluesarjat]. Asutokuntien keskikoko oli 1,9 henkilöä ja näillä perusteilla T3 –alueen asukasluku oli 18510 vuonna 2012.

5.2 Rakennuskanta

Työssä käytetty rakennuskanta-aineisto sisältää Tapiolan keskuksen (211), Länsikorkeen (212), Otsolahden (213), Pohjois-Tapiolan (215) ja Otaniemen (222) pienalueisiin (LIITE 4 Espoon pienalueet ja rakennuskanta-aineiston aluerajaus (keltainen raja)

) sisältyvät rakennukset vuoden 2012 lopussa. Työhön käytettyyn aineistoon sisällytettiin rakennukset, joiden polttoaine, kerrosala ja tilavuustiedot oli kirjattu. Aineistoon ei sisällytetty uunilämmitettyjä ja ilman kiinteää lämmityslaitetta olevia rakennuksia (93 kpl) eikä voimalaitosrakennuksia (2 kpl). Aineistossa rakennukset on luokiteltu Tilastokeskuksen (Rakennusluokat 1994) luokituksen mukaisesti. Liitteiden (LIITE 5 LIITE 6 LIITE 7) taulukoissa on esitetty aineistoon sisällytetyt kerrosalat polttoaineen mukaan.

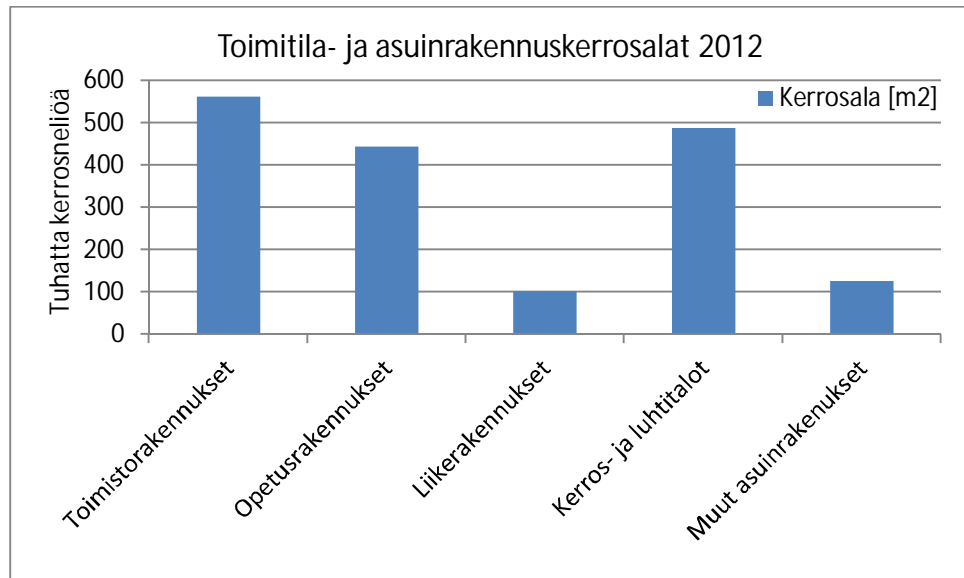
Työhön rajattu rakennuskanta-aineisto sisältää kerrosalaa yhteensä 1956698 m^2 ja rakennustilavuutta 9515591 m^3 . Lähes 60 % kokonaiskerrosalasta sisältyy erilaisiin toimitiloihin ja noin kolmannes on asuinrakennuskanta-aineistossa. Piirakkakuvaaja (Kuva 35) havainnollistaa toimitila-, asuin-, ja muihin rakennuksiin sisältyvien kerrosalojen osuuksia kokonaiskerrosalasta vuonna 2012.



Kuva 35 Rakennuskanta-aineiston kokonaiskerrosalan jakauma 2012

Toimitiloihin sisältyvää kerrosalaa on aineistossa yhteensä 1107033 m^2 ja asuinrakennuksiin liittyvää kerrosalaa aineistoon sisältyy 612672 m^2 . Kuvassa (Kuva 36) on esi-

tetty työssä käytetyn aineiston toimitila ja asuinkerrosalat. Toimitilakerrosala jakautuu kuvan (Kuva 37) esittämin osuuksin toimisto-, opetus- ja liikerakennuksiin.



Kuva 36 Rakennuskanta-aineiston sisältämät toimitila ja asuinkerrosalat 2012



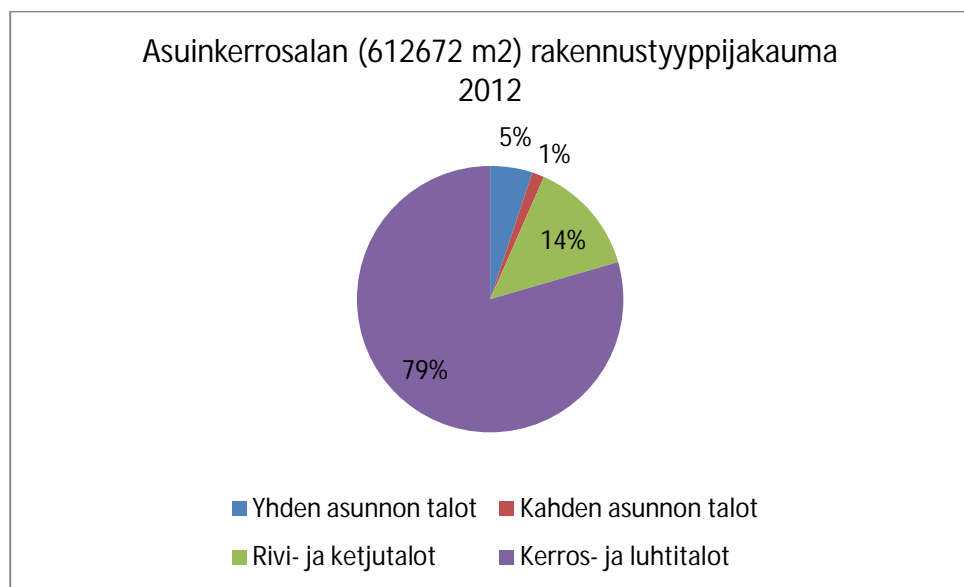
Kuva 37 Toimitilakerrosalan jakauma toimisto-, opetus-, ja liikerakennuksiin 2012

Taulukossa (Taulukko 12) on esitetty aineistoon sisällytetyn toimitilakerrosalan polttoainejakauma. Polttoainejakaumasta voidaan selvästi nähdä, että kaukolämpö on pääasiallinen toimitilojen lämmityspolttoaine tutkimusalueen rakennuksissa.

Taulukko 12 Toimitilakerrosalan polttoainejakauma 2012

Polttoaine	Osuus kerrosalasta
Ei tiedossa	1,0 %
Kauko- tai aluelämpö	91,8 %
Kevyt polttoöljy	6,8 %
Sähkö	0,0 %
Maalämpö tms.	0,4 %

Pääosa aineiston asuinkerrosalasta (612672 m²) sisältyy kerrostaloihin (79 %), seuraavaksi merkittävimmän luokan muodostavat rivi- ja ketjutalot (14 %). Yhden ja kahden asunnon talot kattavat loput kuusi prosenttia asuinkerrosalasta. Piirakkakuvaajassa (Kuva 38) on esitetty tutkimusalueen asuinkerrosalan rakennustyyppijakauma vuonna 2012. Keskimääräinen asuntokoko T3 -alueella oli 63 m² ja asumisväljyys oli 33 m²/asukas



Kuva 38 Asuinkerrosalan rakennustyyppijakauma 2012

Tutkimusalueen asuinkerrosalasta yli 80 prosenttia lämpenee kaukolämmöllä, kuten on havaittavissa taulukossa (Taulukko 13) esitetystä polttoainejakaumasta. Merkittä-

vässä osassa asuinrakennuksiin sisältyvästä kerrosalasta lämmityspolttoaine ei ole rakennusvalvonnan tiedossa.

Taulukko 13 Asuinkerrosalan polttoainejakauma 2012

Polttoaine	Osuus kerrosalasta
Ei tiedossa	13 %
Kauko- tai aluelämpö	82 %
Kevyt polttoöljy	3 %
Sähkö	2 %
Maalämpö tms.	0 %

5.3 Maankäyttö

Tapiola-Otaniemi-Keilaniemi –alue sisältyy Espoon Eteläosien osayleiskaavaan, joka on laadittu vuodelle 2030. Yleiskaavan aluevarausten mitoituksessa on varauduttu 300000 asukkaaseen koko Espoon alueella vuonna 2030. Asumisväljyyden mitoituslukuna on käytetty 50 k-m² asukasta kohden ja työpaikkaomavaraisuusasteena 100 % [64]. Tapiola-Otaniemi-Keilaniemi –kokonaisuus on Espoon merkittävimpiä asemakaavoituskohteita vuonna 2013 [65].

Tapiola-Otaniemi-Keilaniemi –alueella on työn kirjoitushetkellä vireillä 39 asemakaavaa, asemakaavojen sijoittuminen pienalueille näkyy kartasta (Kuva 34). Asemakaavoista 23 sijoittuu tässä työssä määritetylle T3-alueelle (kartassa keltaisella rajattu alue). T3-alueelle sisältyvien asemakaavojen mahdollistamat uudet asuin- ja toimitilakerrosalat ja arvio vuodesta, jolloin kaupunkisuunnittelulautakunta (KSL) hyväksyy asemakaavat, on esitetty taulukossa (Taulukko 14). Uusi asuinkerrosala kohdistuu kokonaisuudessaan kerrostaloihin. Liitteessä (LIITE 22) on esitetty vireillä olevien asemakaavojen mahdollistamat kerrosalat osa-alueittain.

Taulukko 14 alueen asemakaavojen mahdollistamat asuin- ja toimitilojen kerrosalat

Karttanumero	Asuinkerrosala ker-m ²	Toimitilakerrosala ker-m ²	Arvio kaavan hyväksymis- vuodesta
1, 2	100900	57400	2012
3, 18, 31, 32	63300	36100	2013
4, 5, 6, 34	87000	10000	2015
9, 10, 13, 15, 17, 24	201000	40000	2016
7, 8, 16, 19, 23, 30, 39	22900	83300	ei kirjattu/tiedossa
Yhteensä	475100	226800	

5.4 Espoon ilmastotavoitteet, energiansäästö ja uusiutuvien energialähteiden käytön edistäminen

Espoon kaupunki on sitoutunut pääkaupunkiseudun yhteiseen ilmastostrategiaan, jonka tavoitteena on vähentää kasvihuonepäästöjä noin 40 % vuoteen 2030 mennessä. Lisäksi Espoo on liittynyt Euroopan Unionin kaupungin johtajien ilmastositoumukseen (Covenant of Mayors), johon liittyen on tehty kestävän energiankäytön suunnitelma, jonka toimenpiteillä kasvihuonekaasupäästöt vähenevät 30 % prosenttia vuoteen 2020 mennessä. [66]

Espoo on solminut kuntien energiatehokkuussopimuksen (KETS) työ- ja elinkeinoministeriön kanssa. Sopimuksella tavoite on edistää energiansäästöä ja uusiutuvien energianmuotojen käyttöä kaupungin omistamissa kiinteistöissä. Espoon KETS –tavoite on vähentää energiankulutusta 16 % vuoteen 2016 mennessä. [66]

Espoon kaupunki on julkaissut koko Espoon kattavat aurinko- ja geoenergiakartat, joiden avulla voidaan arvioida rakennuskohtaisesti aurinko- ja maalämpöpotentiaalia. Työn kirjoitushetkellä on käytössä myös testausvaiheessa oleva aurinko- ja geoenergiakarttoja hyödyntävä, verkkopohjainen energiatietopalvelu, jonka avulla kuluttajat ja energiajärjestelmiä tarjoavat yritykset voivat vertailla eri energiavaihtoehtoja ja arvioida niiden kustannuksia. [67]

6 T3 –Alueen energiankäyttö 2013 – 2030

Tässä työssä tutkittiin Espoon T3 –alueen rakennusten energian loppukäyttöä ja sen kehittymistä tulevaisuudessa uudisrakentamisen, energiatehokkuustoimien, paikallisen energiantuotannon ja lämpövarastojen johdosta. Energian käytön kehittymistä arvioitiin rakentamalla neljä erilaista skenaariota rakennusten energiankäytölle ajanjaksolle 2013 -2030. Skenaarioiden avulla on tarkoitus arvioida miten T3 –alueen rakennuskannan energiankysyntä voisi kehittyä maankäyttösuunnitelmien mahdollistaman asuin- ja toimitilakerroksien toteutuessa tasaisesti tarkastelujakson aikana. Lisäksi tutkittiin asuin- ja toimitilarakennusten sähkö- ja kaukolämpökuormien ajallista vaihtelua sekä aurinkoenergian tuntikohtaisen tuotannon ja rakennusten sähkön ja lämmönkysyntöjen ajallista yhteensopivuutta tuntitasolla. Tarkoituksena oli arvioida aurinkoenergia- ja energiavarastojen kysyntäjoustopotentiaalia tuntitasolla eri rakennusluokissa.

6.1 Menetelmät

Skenaarioiden luonnissa ja laskennassa käytettiin apuna Long-range Energy Alternatives Planning System (LEAP) –ohjelmaa. LEAP –ohjelma on kansainvälisesti ja laajalti käytetty energia-analyysi ja -skenaariotyökalu, jonka on kehittänyt Stockholm Environment Institute yhdessä useiden muiden tutkimuslaitosten kanssa. LEAP –ohjelma laskee skenaariot energian loppukysynnän perusteella, joka on määritelty ohjelmaan puumaisen rakenteen avulla. Kuvassa (Kuva 39) on esitetty työssä käytetyn skenaariomallin puumainen rakenne. T3 –alueen energianloppukäyttö jaettiin vanhaan rakennuskantaan ja uuteen rakennuskantaa. Toimitilojen ja asuinrakennusten loppukäyttö rakentuu kolmesta haarasta, jolla kullekin on määritetty ominaiskulutus; kiinteistösähkö, käyttövesi ja lämmitys. Kaikille haaroille on määritelty käytetyt teknologiat; ostosähkö, aurinkosähkö, kaukolämpö ja aurinkolämpö. Aktiivisuusyksikkönä laskennassa toimii kerrosala.

LEAP laskee jokaiselle haaralle energiankysynnän seuraavasti:

$$D_{b,s,t} = TA_{b,s,t} \times EI_{b,s,t}$$

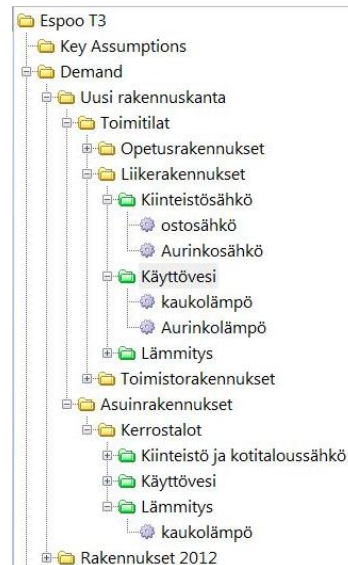
jossa

$$D_{b,s,t} = \text{haaran energian kysyntä}$$

$TA_{b,s,t}$ = haaran kokonaisaktiivisuus (kerrosala)

$EI_{b,s,t}$ = ominaiskulutus (kWh/(m² a))

joissa b =haara, s = skenaario, t = skenaariovuosi



Kuva 39 LEAP –ohjelmassa käytetty skenaariomallin loppukysynnän puumainen rakenne

Toimitila- ja asuinrakennusten sähkökuorman ajallista vaihtelua tarkasteltiin Aalto-yliopiston tuntityyppikäyrien avulla. Kaukolämpökuorman ajallista vaihtelua asuin-, liike ja toimistorakennuksissa tutkittiin kaukolämpöaineiston tuntienenergiaprofiilien avulla. Toimistorakennuksen sähkökuorman muodostumista arkipäivisin on arvioitu lähteessä [68] esitetyillä indekseillä, jotka kuvaavat palvelurakennuksen arkipäivän sähkökuorman muodostumista keskimäärin.

Palvelu- ja asuinrakennusten kaukolämmönkysynnän ajallista vaihtelua tutkittiin vuoden 2012 keskimääräistä kaukolämmöntarvetta kuvaavilla tuntityyppikäyrillä. Keskimääräinen tuntiprofiili toimisto- ja liikerakennuksen kaukolämmöntarpeelle muodostettiin kolmen T3 –alueella sijaitsevan toimisto- ja liikerakennuksen vuonna 2012 toteutuneista tuntiprofiileista. Tuntiprofiili on rakennuksen vuosienenergian perusteella määritettyyn keskituntitehoon suhteutetut tuntienenergiat. Vastaavasti asuinrakennusten keskimääräinen tuntiprofiili on kolmen T3 –alueella sijaitsevan asuinrakennuksen toteutuneen tuntiprofiiliin keskiarvo. Keskimääräisen tuntiprofiilin ja rakennusluokan vuosienenergioiden perusteella määritettiin sähkökysynnän vuosi- ja viikkoprofiilit sekä keskimääräinen energiantarve arki-, aatto- ja pyhäpäivinä ja -öinä eri vuodenaikoi-

na. Lisäksi vuosiprofiilista määritettiin sähkökuorman pysyvyyskäyrät eri rakennusluokissa.

Vuorokauden keskimääräisen sähkö- ja kaukolämpöenergiantarpeen laskennassa vuosi on jaettu seuraaviin jaksoihin:

- talvi on joulukuun 21. – maaliskuun 19.,
- kevät on maaliskuu 20. - kesäkuun 19.,
- kesä on kesäkuun 19. – syyskuun 20.
- ja syksy on syyskuun 21. – joulukuun 20.

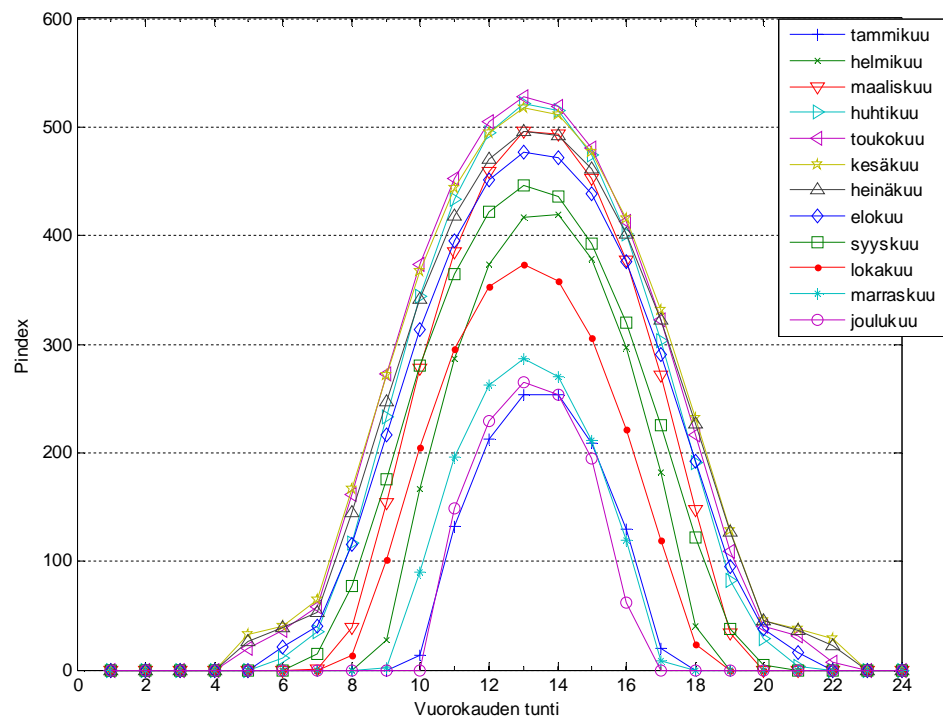
Laskennassa vuorokausi on jaettu seuraavasti:

- päivä alkaa klo 06:00 ja päättyy 18:00
- yö alkaa klo 18:00 ja päättyy klo 06:00

Aurinkoenergiantuotannon tuntikohtaiseen arviointiin käytettiin lähteessä [69] esiteltyä aurinkoenergian tuntituotantomallia ja edellä esitettyjä tuntityyppikäyriä sekä lähteessä [68] esitettyä toimistorakennuksen sähkökuorman jaottelua. Aurinkotuotantomallin avulla voidaan arvioida aurinkomoduulin tuntikohtaista tuotantopotentiaalia eri kuukausina tuntitehoindeksien perusteella. Lähteessä taulukoituina ovat tuntitehoindeksit kolmelle eri auringonpaisteen todennäköisyydelle 1, 0 ja 0,437, vastaten maksimia, minimiä ja keskiarvoista auringonpaistetta, kolmessa moduulin kallistuskulmassa 0, 42 ja 90 astetta.

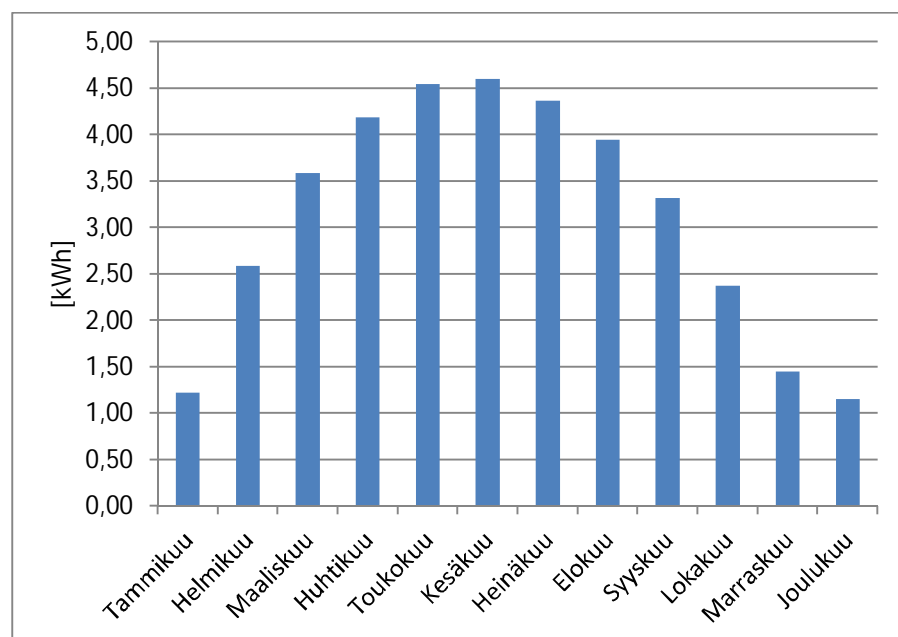
Kuvassa (Kuva 40) on keskimääräiset aurinkotuoton tuntitehoindeksit eri kuukausina Helsingissä sijaitsevalle aurinkomoduulille auringonpaisteen todennäköisyydellä 0,437. Moduuli on suunnattu kohti etelää ja sen kallistuskulma on 42 astetta. Käyttämällä lähtötietoina aurinkoenergiajärjestelmän nimellistehoa P_{\max} * η_{eff} voidaan moduulin tuntikohtainen teho eri kuukausina arvioida alla esitetyn kaavan ja tuntitehoindeksien avulla.

$$P_{\text{m,h}} = \eta_{\text{eff}} P_{\text{max}} \frac{p_{\text{index}}}{1000},$$



Kuva 40 Vuorokauden keskimääräinen aurinkoenergiantuotannon tuntitehoindeksi eri kuukausina Helsingissä kun aurinkomodulin suuntaus on kohti etelää ja sen kallistuskulma on 42 astetta. [69]

Kuvassa (Kuva 41) on esitetty aurinkotuotantomalliin perustuva vuorokauden keskimääräinen aurinkoenergian saatavuus eri kuukausina nimellistehoaltaan 1 kW:n aurinkoenergiajärjestelmälle.



Kuva 41 Tuntitehoindekseihin perustuva aurinkoenergian vuorokausituotanto eri kuukausina 1 kW nimellistehoiseksi aurinkoenergiajärjestelmälle Etelä-Suomessa.

6.2 Skenaarioiden kuvaukset

Espoon T3-alueen uudisrakennusten energiankysynnälle on laadittu referenssiskenaario ja kolme vaihtoehtoista skenaariota. Vaihtoehtoisen skenaarioiden tapauksissa on lisäksi tarkasteltu aurinkoenergian integroitumisen vaikutusta rakennusten ostolämmön ja -sähkön kysyntöihin.

BAU –skenaario toimii referenssiskenaariona. Tarkastelussa uudisrakennusten energiatehokkuus pysyy *RakM 2012* tasoisena (Taulukko 15) koko tarkastelujakson ja olemassa olevan rakennuskannan energiankysyntä pysyy lähtötasolla (Taulukko 16).

PSK –skenaariossa oletetaan rakennusten lämmitysjärjestelmän ominaiskulutuksen laskevan lineaarisesti *RakM 2012* tasosta Pääkaupunkiseudun ilmastostrategiassa esitetyille tavoitetasolle 45 kWh / (m² a) vuonna 2030. Kiinteistö- ja kotitaloussähkö sekä käyttöveden lämmitykseen tarvittava nettoenergia pysyvät *RakM 2012* tasoisina (Taulukko 15) tarkastelujakson ajan. Perusvuoden rakennuskannan ominaislämmön kulutus pienenee prosentin vuodessa.

EKO –skenaariossa uudisrakennusten energiatehokkuus kehittyy lineaarisesti rakentamismääräysten (*RakM 2012*) tasosta matalaenergiatasoon jaksolla 2013 - 2020, josta jakson 2021 – 2030 kuluessa siirrytään lineaarisesti passiivien energiarakennuksiin taulukossa (Taulukko 15) esitetyn ominaiskulutuksin. Olemassa olevan rakennuskannan energiankysynnän oletetaan pysyvän lähtötasollaan koko tarkastelujakson ajan.

EKO nopea –skenaariossa uudisrakennusten energiatehokkuus kehittyy lineaarisesti rakentamismääräysten (*RakM 2012*) tasosta passiivien energiatasolle 2020 mennessä. Käyttöveden lämmityksen nettoenergiantarve eri rakennusluokissa on *RakM 2012* esitetyn mukainen ja sen oletetaan pysyvän vakiona koko tarkastelujakson ajan. Olemassa olevan rakennuskannan energiankysynnän oletetaan pysyvän lähtötasollaan koko tarkastelujakson ajan.

PKS, *EKO*- ja *EKO nopea* –skenaarioiden tapauksissa on lisäsitarkasteltu kiinteistökohtaisen aurinkosähkö- ja lämpötuotannon vaikutusta uudisrakennusten ostolämmön ja -sähkön kysyntöihin.

6.3 Skenaarioiden yhteiset oletukset ja lähtötiedot

Skenaarioiden perusvuodeksi on valittu vuosi 2012. Skenaarioiden tarkastelujakso on 2013 -2030. Skenaarioiden lähtötietoina on käytetty Espoon maankäyttösuunnitelmien kerrosalatietoja toimitila- ja asuinrakennuksille, Espoon rakennuskantaa vuonna 2012 ja T3 -alueen vuoden 2012 sähkön ja kaukolämmön kulutustietoja sekä kirjallisuuslähteitä. Olemassa olevan rakennuskannan energiankysyntää on tarkasteltu kerrosalojen, ominaiskulutuksien ja lämmityspolttoaineiden perusteella. Uudisrakennuskannan energiantarvetta on tarkasteltu maankäyttösuunnitelmien kerrosalatietojen ja kirjallisuuslähteiden ominaiskulutustietojen perusteella.

Toimitiloihin sisältyvää kerrosalaa skenaarioissa toteutuu yhteensä 226800 m² vuoteen 2030 mennessä. Toimitiloihin kohdistuvasta uudesta kerrosalasta 100800 m² on sijoitettu jaksolle 2013 – 2020, ja loput 126000 m² jaksolle 2021 – 2030. Maankäyttösuunnitelmien uuden toimitilakerrosalan oletetaan jakautuvan toimisto-, opetus- ja lii-kerakennuksiin samassa suhteessa kuin vuoden 2012 rakennuskannassa eli kerrosalasta 51 % lukeutuu toimistorakennuksiin, 9 % lii-kerakennuksiin ja 40 % opetusrakennuksiin. Maankäyttösuunnitelmien perusteella T3 -alueen asuinrakentaminen kohdistuu tulevaisuudessa ainoastaan kerrostaloihin. Uuden asuinkerrosalan oletetaan toteutuvan tasaisesti siten, että 211156 m² siitä toteutuu vuosina 2013 – 2020 ja loput 263944 m² jaksona 2021 – 2030.

Oletuksena on, että kiinteistökohtaisia aurinkolämpö- ja sähköjärjestelmiä asennetaan 1 prosenttiin uudisrakennuksista ajanjaksolla 2013 – 2020 ja kymmeneen prosenttiin uudisrakennuksista 2021 – 2030 välisenä jaksona [35] ja, että aurinkoenergialla tuotetaan puolet uudisrakennusten käyttöveden lämmitykseen tarvittavasta nettoenergiasta [70] ja huoneisto- sekä kiinteistösähköstä.

T3 -alueen vuoden 2012 rakennuskannan aurinkosähköpotentialiaali on noin 16 prosenttia alueen vuoden 2012 sähkön loppukäytöstä [74]. Lähtövuoden rakennuskannan aurinkosähkötuotannon oletetaan yleistyvän siten, että prosentti potentiaalista toteutuu vuoteen 2020 mennessä ja kymmenen prosenttia vuoteen 2030 mennessä. Aurinkosähkön oletetaan syrjäyttävän ostosähkönkulutusta koko rakennuskannassa.

Ominaiskulutukset

Uuden rakennuskannan energia sisältää lämmitys- ja sähköenergian. Lämmitysenergian tarkastelu on jaettu tilojen lämmitykseen ja käyttövedenlämmitykseen. Sähköenergia sisältää kiinteistö- ja kotitaloussähkön. Kaikkien uudisrakennusten oletetaan kytkeytyvän kaukolämpöverkkoon. Skenaarioissa on käytetty lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarpeena seuraavia *RakMk D3/2012* esitettyjä standardikäytölle määritettyjä kulutuksia eri rakennusluokissa; Asuinrakennukset 35 kWh/m²,a, Toimistorakennukset 6 kWh/m²,a, Liikerakennukset 4 kWh/m²,a, Opetusrakennukset 11 kWh/m²,a. Taulukossa (Taulukko 15) on esitetty eri rakennusluokkien ostoenergiankulutuksen laskennassa käytetyt ominaisenergiankulutukset eri energiatehokkuusluokissa. Liitteiden kuvissa (LIITE 24 ja LIITE 25) on havainnollistettu ominaiskulutuksien kehittyminen toimitila- ja asuinrakennuksissa eri skenaarioissa.

Taulukko 15 Uudisrakennuskannan energiatarpeen laskennassa käytetyt ominaiskulutukset

Energiatehokkuustaso	Rakennusluokka	Rakennuksen lämmitys- järjestelmän ominais- kulutus ¹ [71] [kWh/m ² a]	Käyttöveden lämmitysenergian ominaiskulutus [24] [kWh/m ² a]	Lämmitys- ja käyttöveden lämmitysenergian erotus [kWh/m ² a]	Sähköenergian ominaiskulutus [71] [kWh/m ² a]
RakM 2012	Toimisto	60	6	54	76
	Opetus	60	11	49	76
	Liike	60	4	56	76
	Asuin	95	35	60	37
Matalaenergia	Toimisto	38	6	32	48
	Opetus	38	11	27	48
	Liike	38	4	34	48
	Asuin	59	35	24	29
Passiivi	Toimisto	28	6	22	35
	Opetus	28	11	17	35
	Liike	28	4	24	35
	Asuin	34	17 ³	17	28

¹ Sisältää käyttöveden lämmitysenergian

² Standardikäyttö (RakM2012)

³ [72]

Perusvuoden eri rakennusluokkien ominaiskulutuksien arvioimisessa käytettiin useita eri lähteitä koska energianmittaustietojen kohdentaminen eri rakennusluokkien kerrosaloihin tuotti pääosin liian suuria ominaiskulutuskukemia. Syynä tähän on mahdollisesti eri aineistoissa käytetty erilainen luokittelutapa sekä mahdollisesti eri aineistojen toisistaan poikkeava aluerajaus. Suuruusluokaltaan oikeita sähkön ja kaukolämmön ominaiskulutuskukemia aineistojen perusteella saatiin toimisto- ja opetusrakennuksille sekä sähkön osalta asuinrakennuksille (LIITE 18 LIITE 19). Taulukossa (Taulukko 16) on esitetty skenaarioiden perusvuoden eri rakennustyypeille eri lähteiden perusteella määrätty lämmitysjärjestelmän ja sähkön ominaiskulutukset.

Taulukko 16 Perusvuoden rakennuskannan energian määrittämisessä käytettyjä rakennusten ominaiskulutuksia

Rakennusluokka	Rakennuksen lämmitysjärjestelmän ominaiskulutus [kWh/(m ² a)]	Sähkön ominaiskulutus (Huoneisto- ja kiinteistö-sähkö) [kWh/(m ² a)]	Yhteensä [kWh/(m ² a)]	Tilavuuden ja kerrosalan välinen suhde ⁵
Toimistorakennukset	215 ¹	129 ³	344	5,7
Opetusrakennukset	199 ²	86 ³	285	4,6
Liikerakennukset	229 ¹	150 ³	379	4,6
Asuinkerrostalot	157 ¹	43 ⁴	200	3,4
OK- ja paritalot	195 ⁶	86 ⁴		3,5

¹Kaukolämpöaineiston, kolmen toimistokiinteistön sekä kolmen liikekiinteistön vuoden 2012 ominaiskulutusten keskiarvot

²MOTIVA energiakatselmuskohteiden lämmön ominaiskulutuksia(LIITE 2)

³MOTIVA energiakatselmuskohteiden sähkön ominaiskulutuksia(LIITE 1)

⁴Vuoden 2012 sähkö- ja rakennuskanta-aineiston perusteella määritetty ominaiskulutus(LIITE 18

⁵Rakennuskanta-aineiston perusteella määritetty arvo (LIITE 6 ja LIITE 7)

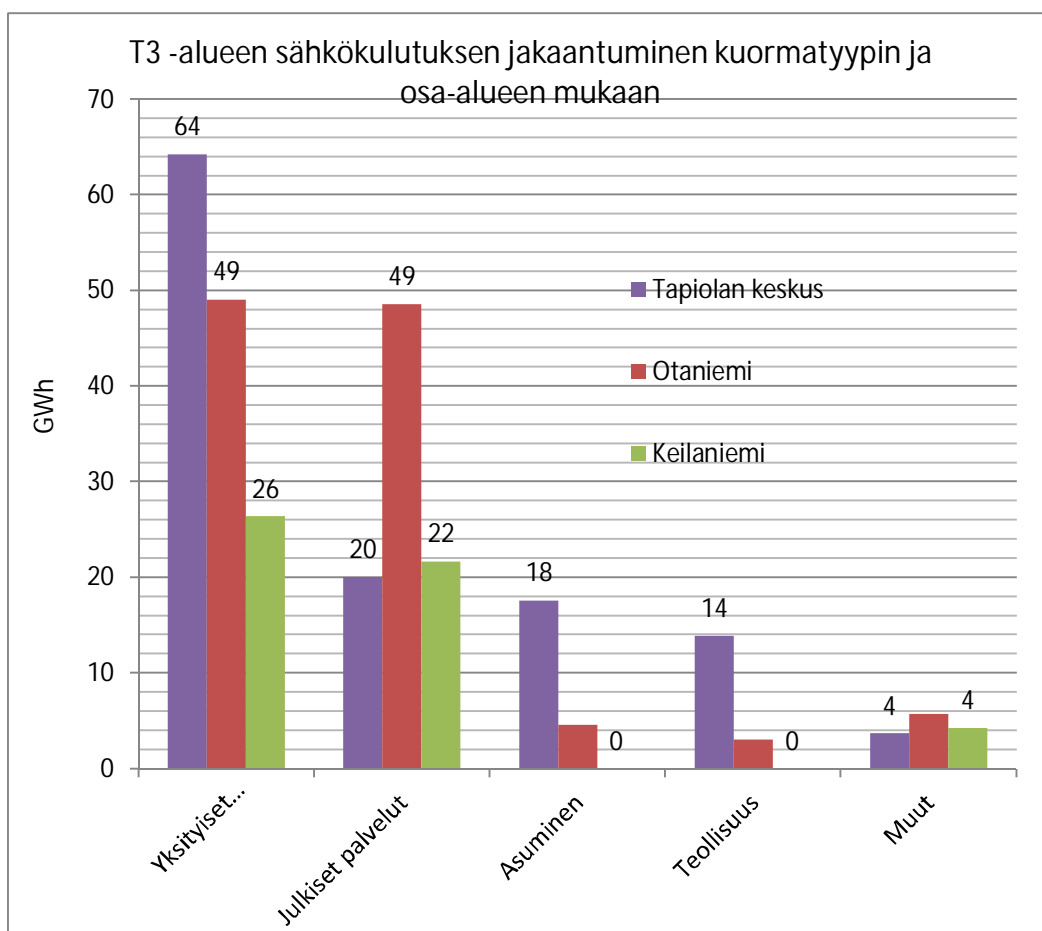
⁶Sipoon Talman osayleiskaavan ekotehokkuustarkastelu [71]

7 T3 –alueen energiankäytön nykytila

7.1 Sähköaineisto ja sähkön loppukäyttö 2012

Sähköaineisto sisälsi liitteen Tapiolan keskus – Otaniemi – Keilaniemi –alueen kuormituskäyrien nimien perusteella yksilöidyt vuoden 2012 vuosienergiat. Aluerajaus on esitetty liitteen (LIITE 8) kartassa.

Tapiolan keskus – Otaniemi – Keilaniemi –alueen sähkön kysyntä yhteensä oli 282,9 GWh vuonna 2012. Suurin osa kulutuksesta sijoittui Tapiolan keskuksen alueelle 119,5 GWh. Otaniemen osuus kulutuksesta oli 111,0 GWh ja Keilaniemessä sähköä käytettiin 52,4 GWh. Kuormatyyppit ja niihin liittyvän sähkökuorman jakaantuminen eri osa-alueiden kesken on esitetty taulukossa (Taulukko 17). Kuormatyyppit on lajiteltu sähköaineiston liittymäkohtaisten kuormituskäyrien nimien perusteella viiteen eri luokkaan. Yksityisten ja julkisten palveluiden osuus T3 –alueen sähkökuormasta on yli 80 %. Yksityisten palveluiden kuorma on painottunut Tapiolan keskuksen alueelle ja sähköä julkisiin palveluihin käytettiin eniten Otaniemen alueella. Asumiseen liittyvää sähkönkulutusta alueen kuormasta on 8 %, joka syntyy pääasiassa Tapiolan keskuksen alueella ja Otaniemessä. Kuva (Kuva 42) havainnollistaa vuosienergian jakautumista kuormituksen ja osa-alueen mukaan T3 –alueella.



Kuva 42 T3 -alueen sähkönkulutus 2012

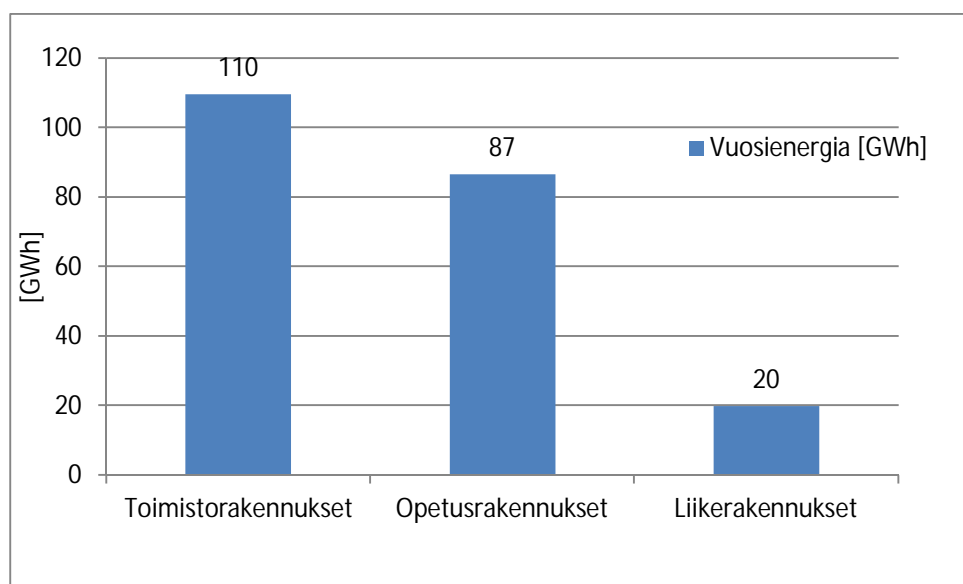
Taulukko 17 T3 -alueen sähkökuorman muodostuminen ja kuorman jakaantuminen eri osa-alueiden kesken

Kuormatyyppi	Osuus T3 -alueen kuormasta Otaniemi Keilaniemi Tapiolan keskus			
	[GWh]			
Yksityiset palvelut (49 %)	139,8	35,1 %	18,9 %	46,0 %
Julkiset palvelut (32 %)	90,4	53,8 %	24,0 %	22,2 %
Asuminen (8 %)	22,2	20,6 %	0,0 %	79,4 %
Teollisuus (6 %)	16,9	18,0 %	0,2 %	81,8 %
Muut (5 %)	13,7	41,9 %	30,9 %	27,1 %

7.1.1 Toimitilarakennukset

Sähköaineiston toimitilarakennuksiin viittaavien kuormien vuosienenergia oli yhteensä 216 GWh vuonna 2012. Sähköaineisto ei sisältänyt kerrosalatietaoja, joten sähkön ominaiskulutuksia eri palvelurakennusluokissa ei ollut mahdollista määrittää pelkän

sähköaineiston perusteella. palvelurakennusten ominaiskulutus määritettiin palvelurakennuksiin viittaavien vuosienergioiden ja rakennuskanta-aineiston toimitilakerrosalojen (yhteensä 1107027 m²) perusteella. Näin määritettynä T3 -alueen palvelurakennusten sähkön ominaiskulutukseksi saatiin 195 kWh / (m² a). Näin saatu ominaiskulutus on korkeampi kuin MOTIVAN tilastoimat kuntotutkimuskohteille määritetyt sähkön ominaiskulutukset (LIITE 1) mutta on kuitenkin oikeaa suuruusluokkaa. Käyttämällä edellä määritettyä sähkön ominaiskulutustilukua ja rakennuskanta-aineiston (LIITE 6) kerrosalatietoja toimisto-, opetus- ja liikerakennuksille saadaan T3- alueen toimitilarakennuksille kuvassa (Kuva 43) esitettyt vuosienergiat.

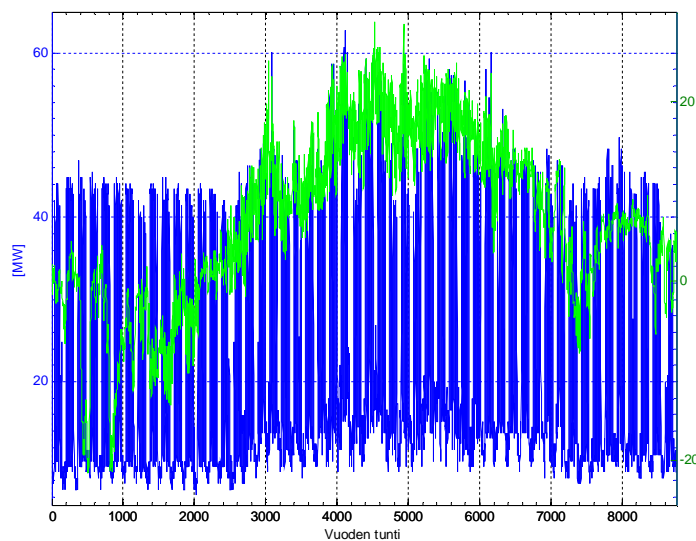


Kuva 43 T3 -alueen toimisto-, opetus- ja liikerakennusten sähkönkysyntä vuonna 2012

Toimisto- ja opetusrakennukset

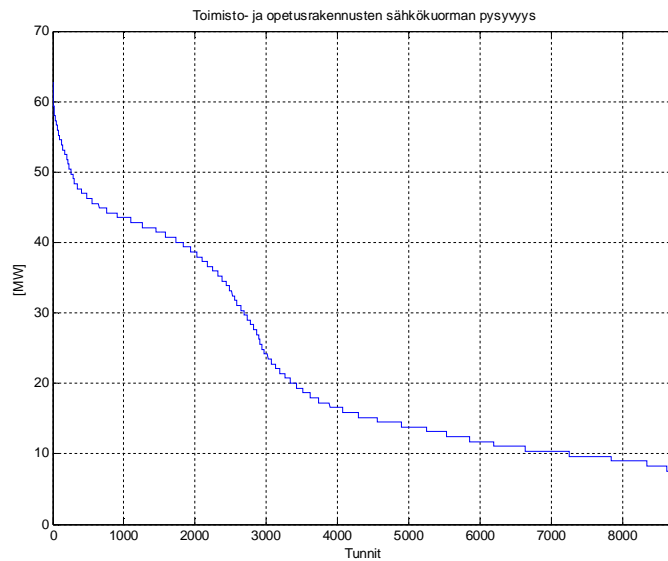
T3 –alueen toimisto- ja opetusrakennusten sähkön kysyntä oli 197 GWh eli lähes 70 prosenttia T3 –alueen vuoden 2012 sähkön loppukäytöstä. Opetusrakennusten käyttöajat vastaavat pääosin toimistorakennusten käyttöaikoja kesäkuukausia lukuun ottamatta, jolloin opetusrakennuksissa ei yleisesti ole toimintaa. T3- alueen opetusrakennuksiin sisältyvät rakennukset ovat kuitenkin pääosin korkeakoulu- ja tutkimuslaitosrakennuksia, joissa pääsääntöisesti on toimintaa ympäri vuoden ja sähkönkäyttö on toimistotyyppistä. Tämän johdosta toimistorakennusten tuntityyppikäyrä voitaneen soveltaa myös T3 –alueen opetusrakennusten sähkönkäytön arviointiin.

Kuvassa (Kuva 44) on T3 –alueen toimisto- ja opetusrakennusten tuntienergiavuosi-profiili (sininen käyrä), tyyppikäyrällä mallinnettuna. Vihreä käyrä kuvaa mallin keskimääräisiä tuntiämpötiloja. Toimistorakennusten sähkönkäyttö on vuositasolla tasaista ja noudattaa selkeästi tyypillisen toimistorakennuksen viikoittaisia työaikoja läpi vuoden (Kuva 46). Arkipäivisin sähkönkulutus on korkeimmillaan klo 11 – 17 välillä, jolle kulutushuippu yleisesti myös ajoittuu. Ulkolämpötila (vihreä käyrä) vaikuttaa toimisto- ja opetusrakennusten sähköenergian kulutukseen käytännössä vain kesäkuukausina, jolloin tilojen jäähdytystarve lisääntyy merkittävästi. Vuosienergiaprofiilista tämä on havaittavissa selkeästi ja kulutushuiput toimisto- ja opetusrakennuksille on odotettavissa kesä-elokuun hellejaksoille.

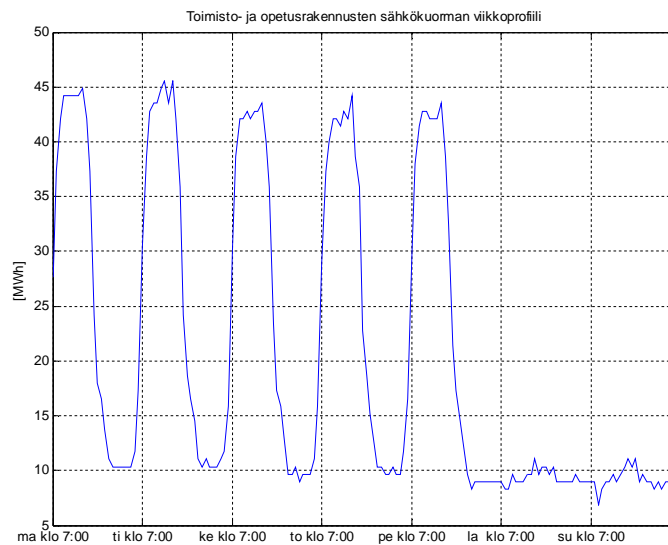


Kuva 44 T3 –alueen toimisto- ja opetusrakennusten vuoden 2012 sähkökuorman vuosiprofiili (sininen käyrä) ja mallin keskimääräiset tunnin ulkolämpötilat (vihreä käyrä) (Aalto-yliopiston tuntityyppikäyrä)

Toimisto- ja opetusrakennusten vuosienergiaprofiiliin perustuva sähkökuorman pysyvyyskäyrä on esitetty kuvassa (Kuva 45).

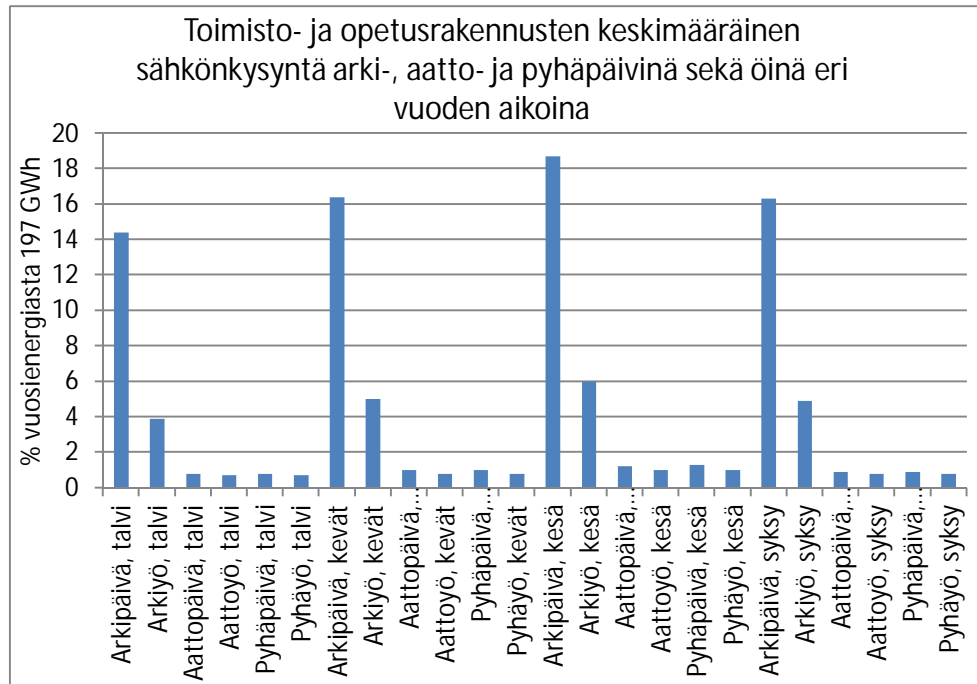


Kuva 45 T3 -alueen toimisto- ja opetusrakennusten sähkökuorman pysyvyys vuonna 2012



Kuva 46 T3 –alueen toimisto- ja opetusrakennusten sähkökuorman viikoprofiili (mallin viikko 26)
(Aalto-yliopiston tuntityyppikäyrä)

T3 –alueen toimisto- ja opetusrakennusten vuosienergiaprofiilin perusteella määritetty keskimääräinen sähköenergian tarve arki-, aatto- ja pyhäpäivinä ja –öinä eri vuodenaikoina on esitetty kuvassa (Kuva 47).



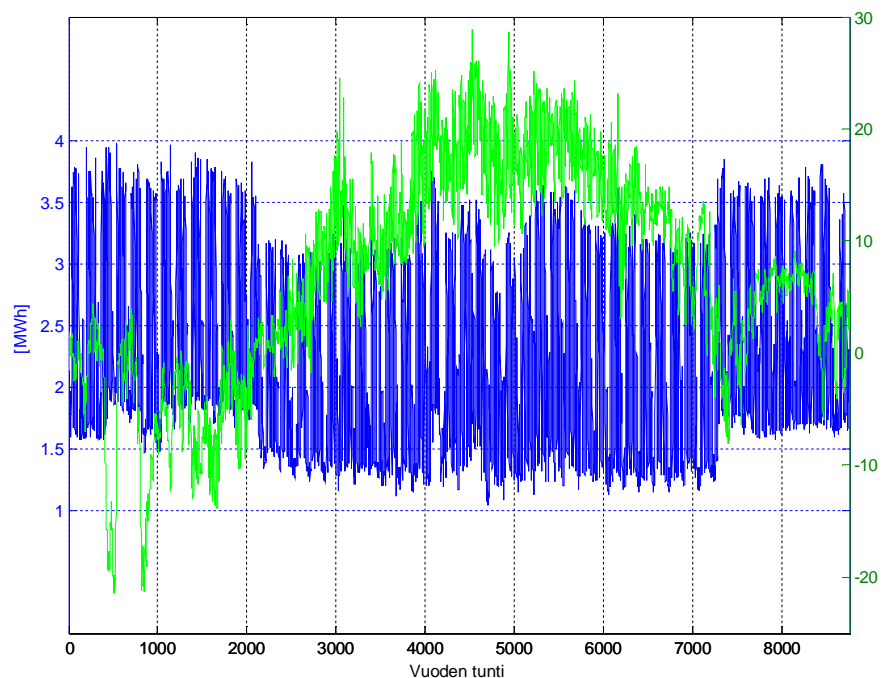
Kuva 47 T3 -alueen toimisto- ja opetusrakennusten keskimääräinen sähköenergian tarve (% rakennusluokan vuosienenergiasta) arki-, aatto- ja pyhäpäivinä sekä öinä

Toimistorakennuksen sähkönkysyntä kesäarkipäivinä on 4,3 prosenttiyksikköä korkeampi kuin talviarkipäivinä. Absoluuttisia sähkönkysyntöjä tarkasteltaessa kesäarkipäivinä sähkönkysyntä on lähes 23 prosentti korkeampi kuin talviarkipäivinä. Lähteessä [10] esitettiin, että toimistorakennuksen sähkönkulutus on kesäviikolla jäähdytystarpeesta johtuen noin 15 prosenttia talviviikon kulutusta korkeampi. Tulokset vaikuttavat varsin yhden mukaisilta ottaen huomioon, että lähteessä tarkasteltiin sähkönkysyntöjä viikkotasolla, joka saattaa osaltaan tasoittaa kysynnän kasvua päivätason tarkasteluun verrattuna.

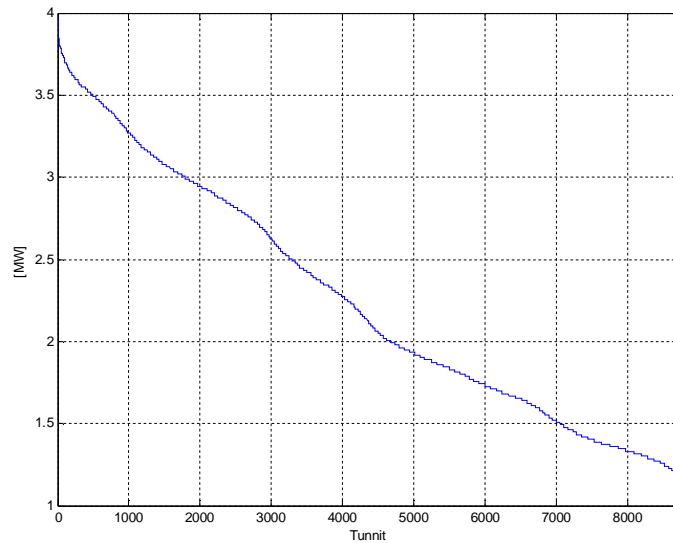
Liikerakennukset

T3 -alueen liikerakennusten sähköntarve oli 20 GWh vuonna 2012, joka on noin seitsemän prosenttia koko alueen sähkön kysynnästä. Kuvassa (Kuva 48) on T3 -alueen liikerakennusten sähkönkäytön vuosiprofiili, joka perustuu mallikäyrään ja liikerakennusten vuoden 2012 vuosienergiaan. Tuntienergiaprofiilista (sininen käyrä) on nähtävissä, että liikerakennusten sähkön kysyntä on varsin tasaisella vuositasolla. Vertaamalla liikerakennusten tuntienergian käyttäytymistä mallin ulkolämpötiloihin (vihreä käyrä) nähdään, että alhainen ulkolämpötila ei vaikuta sähkönkäyttöön liikerakennuksissa.

Liikerakennuksissa sähkön kuormitushuippu ajoittuu profiilissa tammikuun viimeisen viikon maanantaille klo 10 – 14 väliselle ajalle. Kesällä liikerakennusten sähkökuorma alenee keskimäärin, joka selittyy osittain pienentyneestä valaistustarpeesta valoisina kesäkuukausina. Kesä-elokuulle välille ajoittuvat kulutushuiput johtunevat kylmälaitteiden kasvaneesta energiatarpeesta. Viikkotasolla (Kuva 50) on sähkönkysynnässä havaittavissa selkeästi palveluaikojen seuraava rytmi. Liikerakennusten sähkökuorman pysyvyysskäyrä on esitetty kuvassa (Kuva 49).

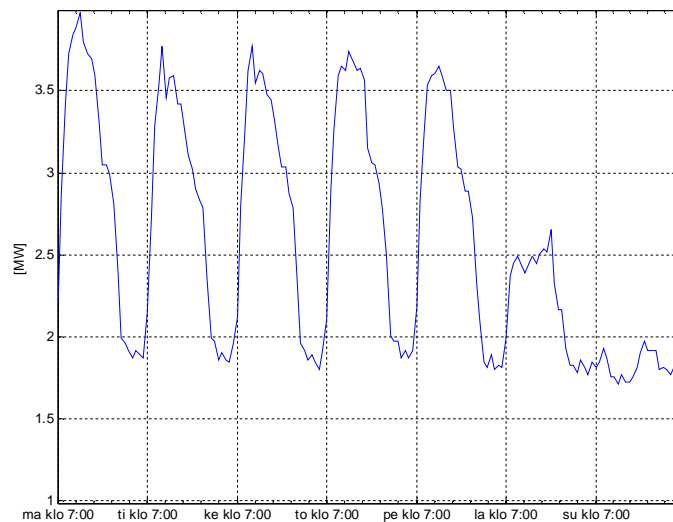


Kuva 48 T3 -alueen liikerakennusten sähkönkysynnän vuosiprofiili 2012 ja mallin tunnin keskimääräinen ulkolämpötila (vihreä käyrä) (Aalto-yliopiston tuntityyppikäyrä)



Kuva 49 Liikerakennusten sähkökuorman pysyvyys 2012

Kuvista (Kuva 48) ja (Kuva 50) voidaan havaita, että liikerakennusten sähkökysyntä määräytyy pääasiassa toistuvan palveluaikojen seuraavan viikkorytmin mukaan kaikkina vuodenaikoina. Vielä selkeämmin tämä on havaittavissa kuvasta (Kuva 51), jossa on esitetty liikerakennusten keskimääräinen sähköntarve arki-, aatto- ja pyhäpäivinä ja -öinä eri vuodenaikoina. Vuodenajasta riippumatta on arkipäivän sähköenergian tarve keskimäärin 12 – 13 prosenttia liikerakennusten vuosienergiasta. Aatto- ja pyhäpäivien ja -öiden energiankysynnot pysyvät myös lähes samalla tasolla eri vuodenaikoina.



Kuva 50 T3 –alueen liikerakennusten sähkökuorman viikkoprofiili (mallin viikko 4) (Aalto-yliopiston tuntityyppikäyrä)

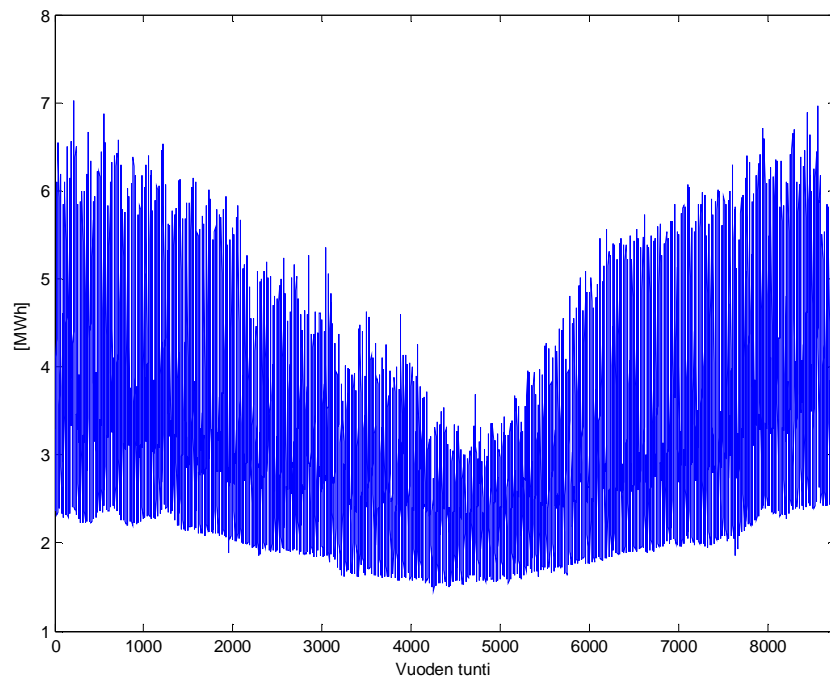


Kuva 51 T3 -alueen liikerakennusten keskimääräinen sähköenergian tarve (% vuosienergiasta) arki-, aatto- ja pyhävuorokautena eri vuodenaikoina vuonna 2012

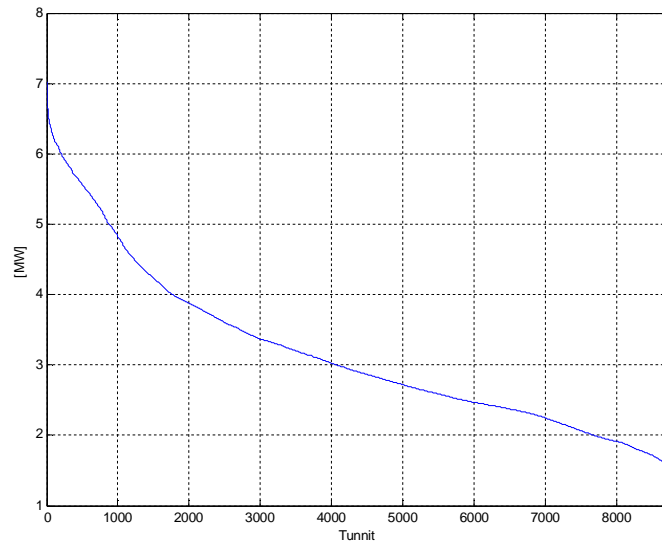
7.1.2 Asuinrakennukset

T3 -alueen asuinrakennusten sähkön tarve oli 28 GWh vuonna 2012 eli noin kymmenen prosenttia alueen sähkön loppukäytöstä. Pääosa (88 %) tästä kulutuksesta tapahtui kaukolämmitteisissä kerros- ja rivitaloasunnoissa. Omakoti- ja paritalojen osuus T3 -alueen sähkökäytöstä on noin prosentti loppukulutuksesta.

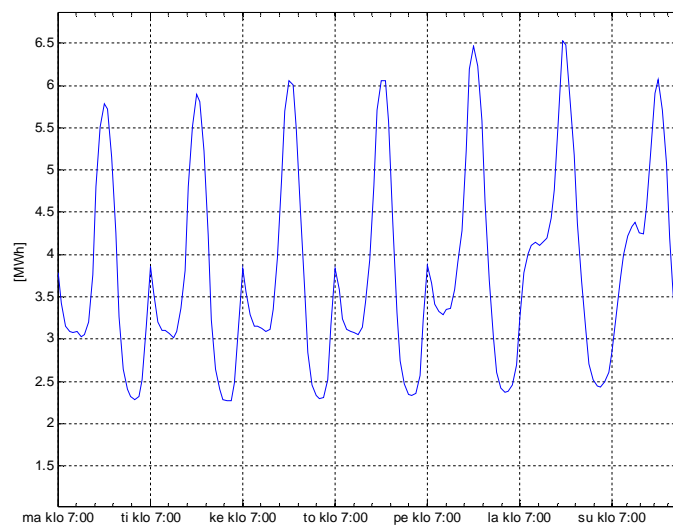
Asuinrakennusten sähkönkysynnän ajallista vaihtelua eri vuorokauden ja vuoden aikoina tutkittiin Aalto-yliopiston kaukolämmitteisen asuinhuoneiston keskimääräistä sähkönkäyttöä kuvaavalla tuntityyppikäyrällä. T3 -alueen asuinrakennusten sähkön vuosienenergiaan perustuva vuosiprofiili on esitetty kuvassa (Kuva 52). Asuinrakennusten sähkökuorman pysyvyyskäyrä on esitetty kuvassa (Kuva 53). Kaukolämmiteltyjen asuinrakennusten sähkönkäyttö koostuu pääasiassa kylmä- ja kuluttajalaitteisiin, valaistukseen ja ruuan valmistukseen käytetystä sähköstä [8], joten ihmisten käyttäytyminen ja aktiivisuus ovat merkittävimmät sähkökuormaan vaikuttavat tekijät näissä asuinrakennuksissa. Asuinrakennuksissa sähkönkäyttö vähenee kesäkuukausina mikä selittyy osittain valaistustarpeen vähenemisestä ja osaltaan siitä, että kesän lomakautena osa asunnoista on tyhjillään. Viikkotasolla (Kuva 54) sähkökäytössä on havaittavissa selkeä päivärytmi ja tästä johtuvat kulutushuiput aamulla ja illalla.



Kuva 52 T3 -alueen asuinrakennusten vuoden 2012 sähkökuormaprofiili (Aalto-yliopiston tuntityyppikäyrä)

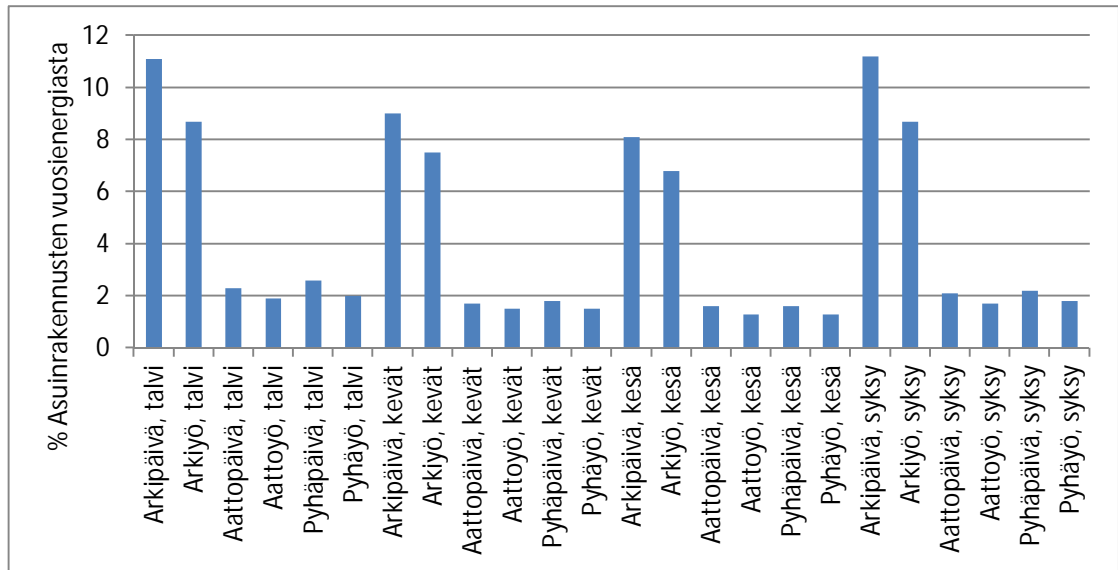


Kuva 53 T3 –alueen asuinrakennusten sähkökuorman pysyvyys 2012



Kuva 54 T3 –alueen asuinrakennusten vuoden 2012 sähkökuormaa kuvaava viikkoprofiili (mallin viikko 7) (Aalto-yliopiston tuntityyppikäyrä)

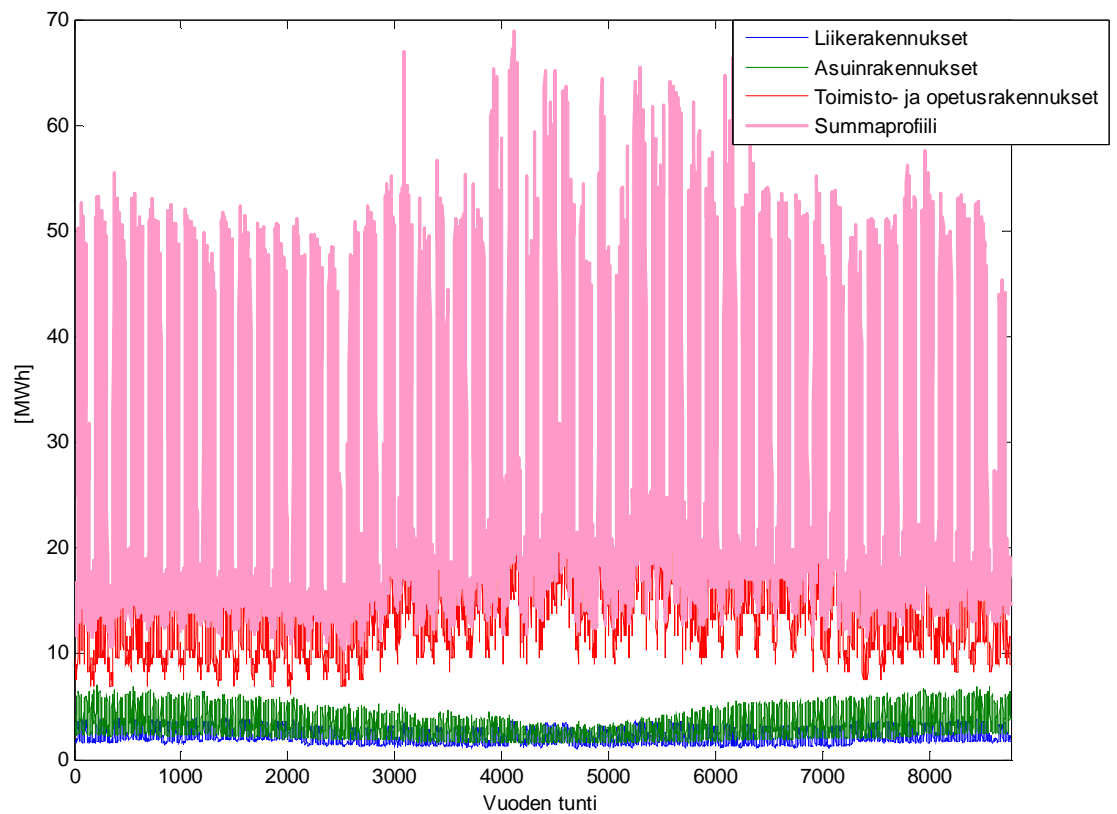
T3 –alueen asuinrakennusten keskimääräinen sähkönkysyntä (% asuinrakennusten vuosienenergiasta) arki-, aatto- ja pyhäpäivinä ja –öinä eri vuodenaikoina on havainnollistettu kuvassa (Kuva 55). Sähköenergian tarve asuinrakennuksissa on suurimmillaan syksyn arkipäivinä. Kesällä arkipäivän keskimääräinen sähkönkysyntä on 3,1 prosenttiyksikköä alempi. Asuinrakennusten absoluuttinen sähkötarve on syksyn arkipäivinä lähes 26 % suurempi kuin kesäarkisin.



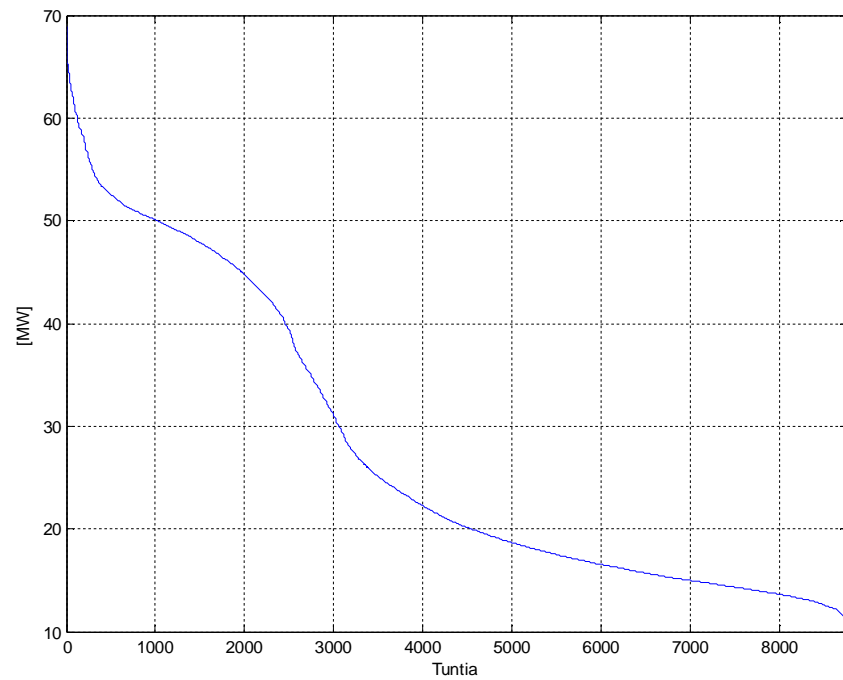
Kuva 55 T3 –alueen asuinrakennuksien keskimääräinen sähköntarve (% asuinrakennusten vuosienenergiasta) arki-, aatto- ja pyhäpäivinä sekä –öinä eri vuoden aikoina.

7.1.3 Toimitilat ja asuinrakennukset yhteensä

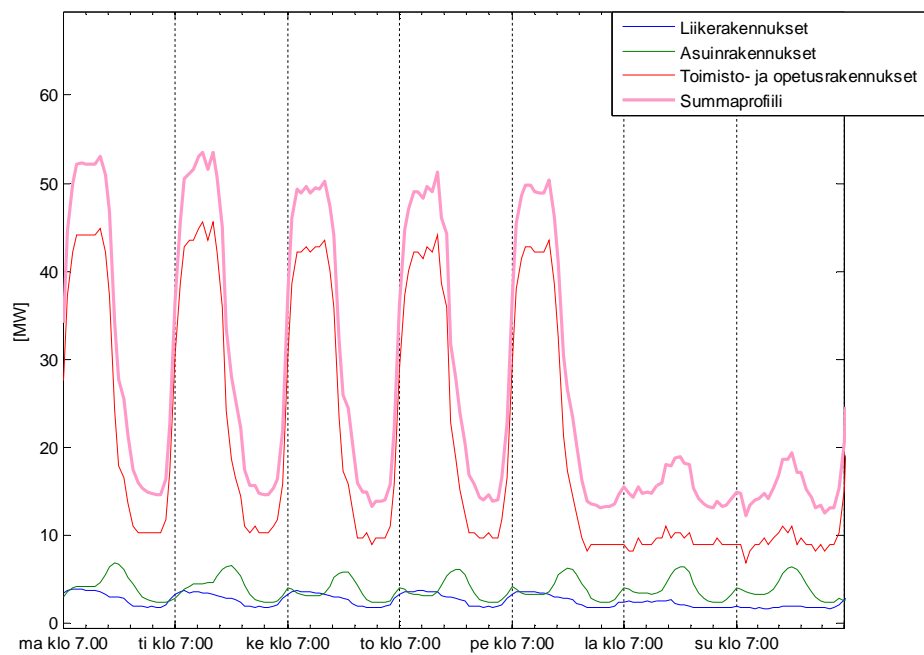
T3 –alueen asuin- ja toimitilarakennusten sähkön tarve oli yhteensä 244 GWh vuonna 2012. Toimisto ja opetusrakennukset osuus tästä on merkittävin. Kuvassa (Kuva 56) on edellä esitetyt asuin- ja toimitilarakennusten vuosienergiaprofiilit ja niiden summaprofiili. Vastaavasti kuvassa (Kuva 58) on esitetty viikkotasolla (viikko 4) summaprofiilin muodostuminen. Asuin- ja toimitilarakennusten sähkökuorman pysyvyys vuonna 2012 on esitetty kuvassa (Kuva 57).



Kuva 56 T3 –alueen asuin- ja toimitilarakennusten sähkönkäytön vuosienergiaprofiilit ja summaprofiili



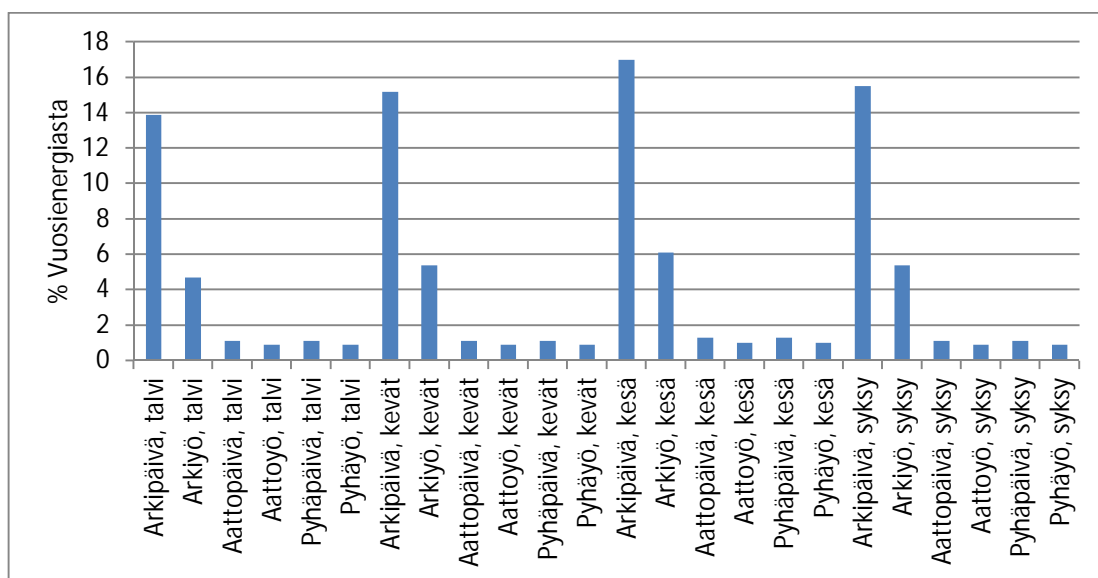
Kuva 57 T3 –alueen asuin- ja toimitilarakennusten sähkökuorman pysyvyys



Kuva 58 T3 –alueen asuin- ja toimitilarakennusten sähkökuorman viikkoprofiilit ja summaprofiili (viikko 4)

Kuvassa (Kuva 59) on T3 –alueen asuin- ja toimitilarakennusten keskimääräinen sähköntarve (% vuosienergiasta 244 GWh) arki-, aatto- ja pyhäpäivinä sekä –öinä eri

vuodenaikoina. Oletetusti toimitilavaltaisen alueen sähkönkysyntä painottuu voimakkaasti arkipäiville ympäri vuoden. Erityisesti kuvasta on todettavissa toimitilojen kasvanut sähköntarve kesäarkepäivinä ja öinä.



Kuva 59 T3 –alueen asuin- ja toimitilarakennusten keskimääräinen sähköntarve (% rakennusluokkien vuosienenergiasta 244 GWh) arki-, aatto- ja pyhäpäivinä ja –öinä eri vuodenaikoina.

7.1.4 Muu sähkönkulutus

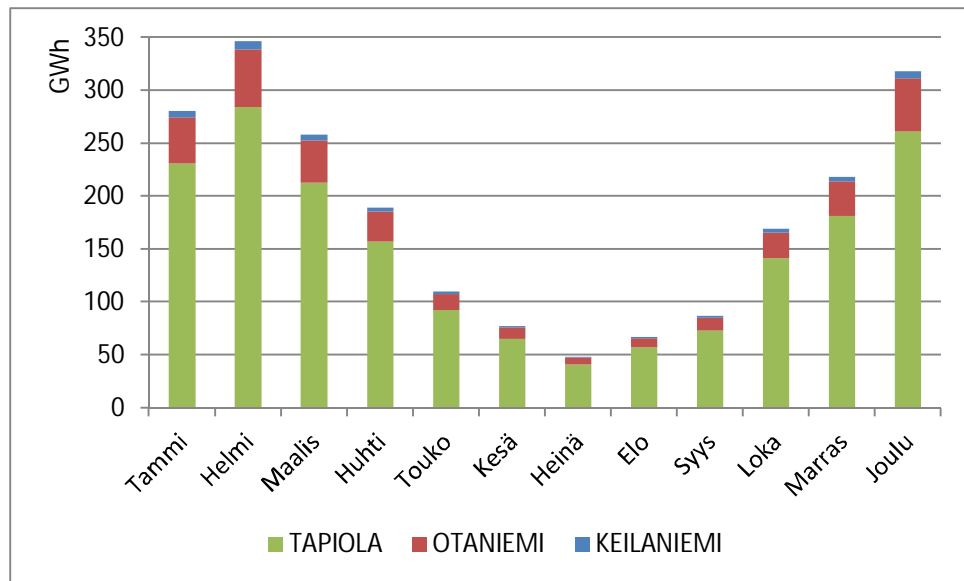
T3- alueen muu kuin asuin- ja palvelurakennuksiin lukeutuva sähkön käyttö oli noin 39 GWh vuonna 2012. Alueen muu sähkönkäyttö sisälsi seuraavat kuormaryhmät lueteltuna suurimmasta pienimpään: teollisuus, tievalaistus, radiomastot ja vesihuolto.

7.2 Kaukolämpöaineisto ja kaukolämmön loppukäyttö 2012

Kaukolämpöaineisto sisälsi vuoden 2012 kuukausittaiset kaukolämpöenergiat osa-alueittain ja rakennusluokittain (Rakennusluokitus 1994) eriteltyinä (LIITE 13 LIITE 14 LIITE 15). Lisäksi tutkimuskäyttöön oli saatu kolmen T3 -alueella sijaitsevan asuin, liike- ja toimistokiinteistön vuoden 2012 tuntienenergiaprofiilit ja toteutuneet ominaiskulutukset. Aineiston aluerajaus noudattaa pääosin sähköaineiston aluerajaus- ta, joka on esitetty liitteen (LIITE 8) kartassa.

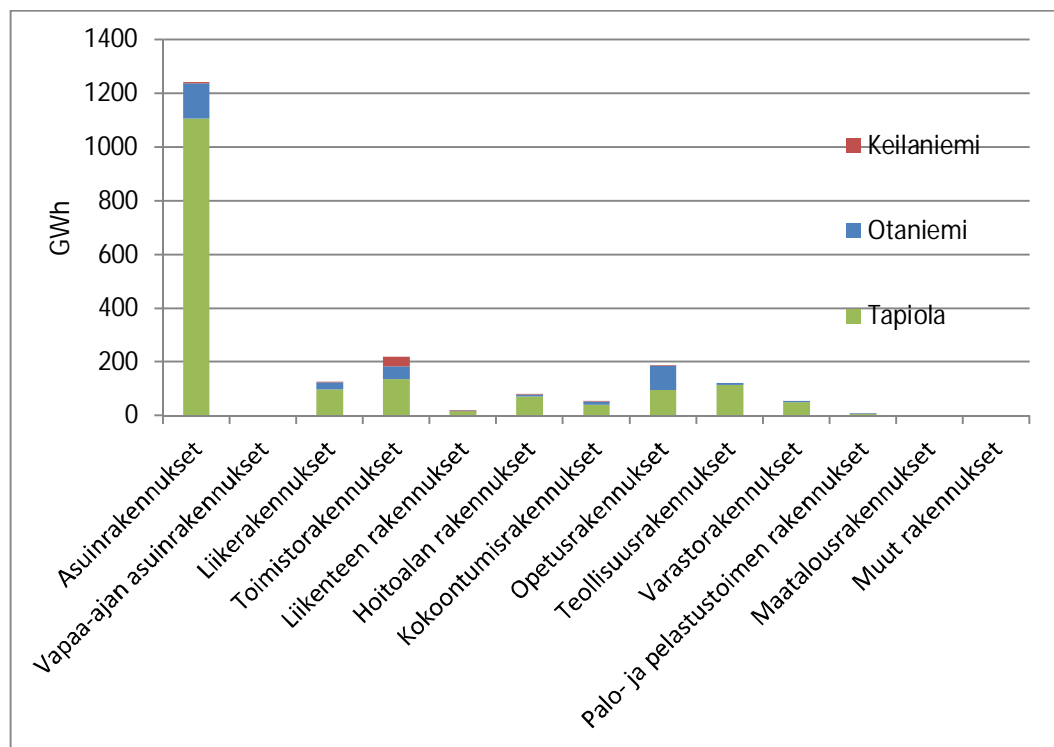
Lämmön vuoden 2012 ominaiskulutus asuin-, toisto- ja liikerakennuksille määritettiin laskemalla keskiarvo kolmesta toteutuneesta ominaiskulutuksesta kyseisissä rakennus- luokissa (Taulukko 16). Lähteessä [70] on arvioitu Espoon asuinrakennusten keski- määräiseksi lämmitystarpeeksi 47 kWh / (m³ a) ja muiden asiakkaiden 29 kWh / (m³ a). Näistä kerrosalaperusteiseksi lämmön ominaiskulutuksiksi saadaan asuinrakennuk- sille 160 kWh / (m² a) ja muille asiakkaille (toimitilat) 148 kWh / (m² a) kun käyte- tään tilavuuden ja korkeuden suhteen kerros- ja luhtitalojen keskimääräistä suhdetta 3,4 (LIITE 7) ja muille asiakkaille toimitilojen kerrosalojen (LIITE 6) suhteessa pai- notettua keskiarvoa 5,1.

T3-alueelle myytiin kaukolämpöenergiaa yhteensä 2,17 TWh vuonna 2012. Kulutuk- sesta noin 83 prosenttia sijoittui Tapiolan keskuksen alueelle. Kuvassa (Kuva 60) on esitetty T3 -alueen vuosienergian muodostuminen eri osa-alueiden osuuksista. Ota- niemen osuus kaukolämmönkulutuksesta oli noin 15 prosenttia ja loput kaksi prosent- tia kulutettiin Keilaniemessä. Suurin osa vuoden 2012 lämmön loppukäytöstä tapahtui alueen asuinrakennuksissa (60 %) ja toimitiloissa (24 %) (Kuva 61). Osa- aluekohtaiset kuvaajat on esitetty liitteissä (LIITE 16 ja LIITE 17). Kuvista voidaan havaita että, osa-alueiden kulutusprofiilit ovat lähes identtisiä ja yhdenmukaisesti lämpötilariippuvia.



Kuva 60 Tapiola-Otaniemi-Keilaniemi -alueen kaukolämmön kuukausittaiset kaukolämpöenergiat 2012

Tapiolan keskuksessa asuinrakennusten osuus kaukolämmön loppukäytöstä oli 54 %, josta kerrostalojen osuus oli 32 %, rivi- ja ketjutalojen osuus 13 %, OK- ja paritalojen osuus oli 8 prosenttia. Tapiolan keskuksen toimitilat käyttivät 15 prosenttia T3 – alueen kaukolämmöstä ja 14 % kulutettiin Tapiolan keskuksen muissa rakennuksissa. Liitteissä (LIITE 13 ja LIITE 14) on esitetty kaukolämmön loppukäytön osuudet asuin- ja toimitilarakennuksissa osa-aluekohtaisesti.

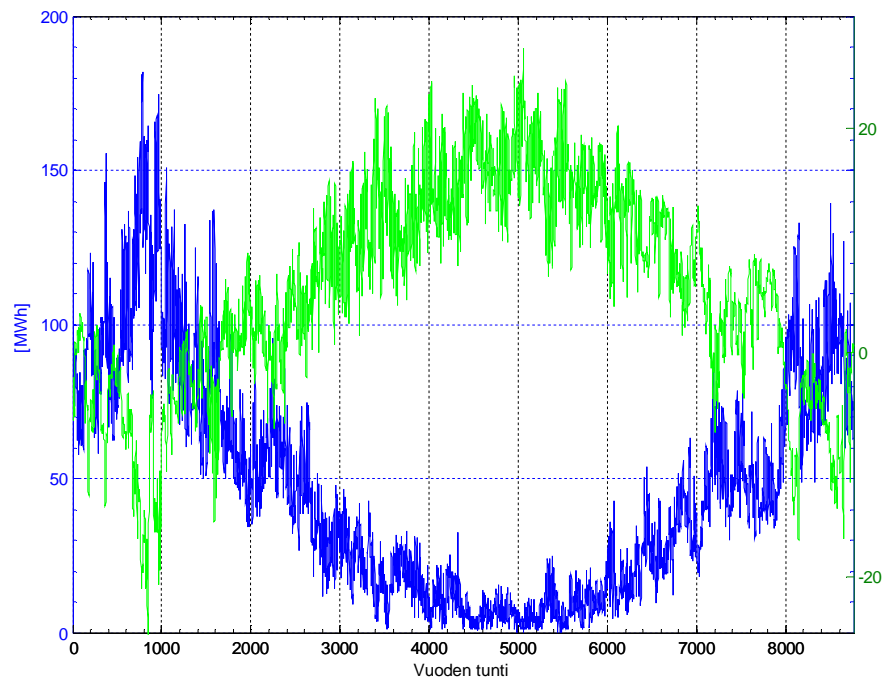


Kuva 61 T3 –alueen kaukolämmön loppukäytön jakautuminen rakennusluokittain 2012

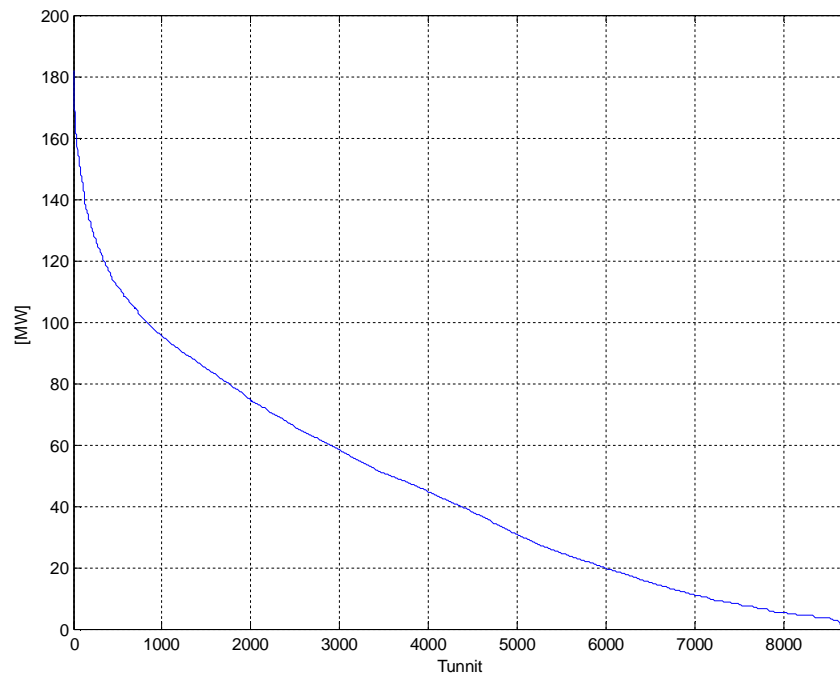
7.2.1 Toimitilarakennukset

Toimisto- ja opetusrakennukset

T3 –alueen toimisto- ja opetusrakennusten kaukolämmön loppukäyttö vuonna 2012 oli 408 GWh, joka vastasi 19 prosenttia koko alueen lämmön loppukäytöstä. Kuvassa (Kuva 62) on esitetty T3-alueen toimisto- ja opetusrakennusten kaukolämmön tarve (sininen käyrä). Viikkoprofiili kaukolämmöntarpeelle ja viikon tunnin keskimääräiset ulkolämpötilat on esitetty kuvissa (Kuva 64) ja (Kuva 65). Toimistorakennuksen kaukolämmönkysyntä riippuu pääosin ulkolämpötilasta ja vuorokauden ajasta. Tämä on myös havaittavissa selvästi vuosi- ja viikkoprofiileista vertaamalla tunnin keskimääräisiä ulkotuntilämpötiloja (vihreä käyrä) ja tuntienenergiaa (sininen käyrä). T3 – alueen toimisto- ja opetusrakennusten kaukolämpökuorman pysyvyyskäyrä vuonna 2012 on esitetty kuvassa (Kuva 63).

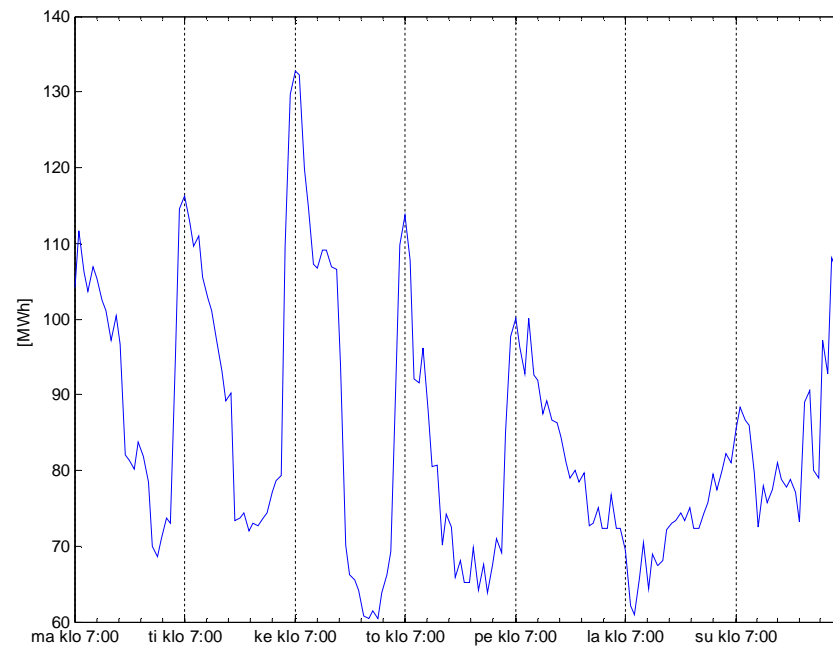


Kuva 62 T3 –alueen toimisto- ja opetusrakennusten mallinnettu kaukolämmön kysynnän tuntiprofiili (sininen käyrä) ja tunnin keskimääräiset ulkolämpötilat (vihreä käyrä) vuonna 2012 (Fortum kaukolämpöaineisto)

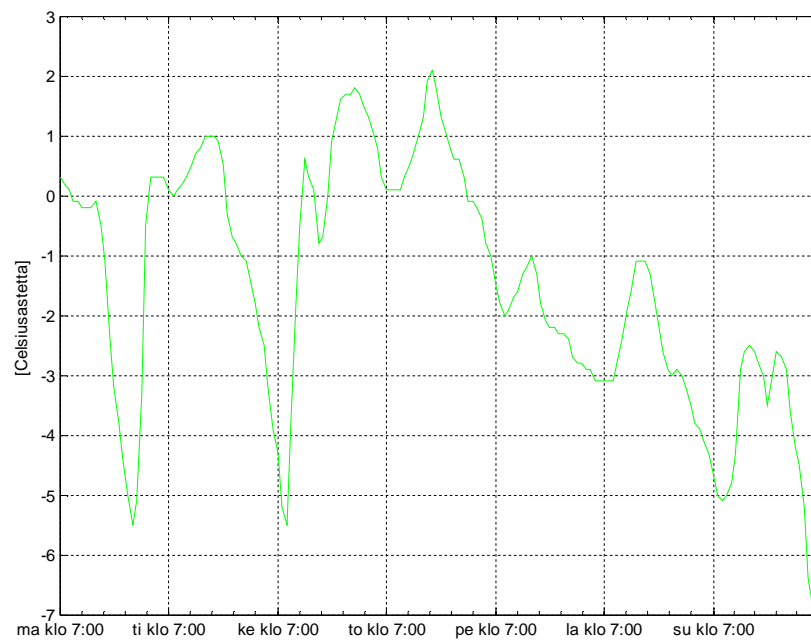


Kuva 63 T3 –alueen toimisto- ja opetusrakennustes kaukolämpökuorman pysyvyys vuonna 2012.

Toimistorakennusten jaksottaisesta lämmityksestä johtuen kaukolämmön kulutushuippu tapahtuu tavallisesti arkaamuisin kun yön aikana alentunut sisälämpötila nostetaan takaisin normaalille tasolle [73]. Toimistorakennuksen kaukolämmön kysynnän viikkoprofiili on kuvan (Kuva 64) mukainen. Kuvasta voidaan havaita lämmönkysynnän toimitustyöaikoja seuraava viikkorytmi ja rakennuksen kasvaneesta lämmitystarpeesta johtuva kulutushuippu arkaamuisin.

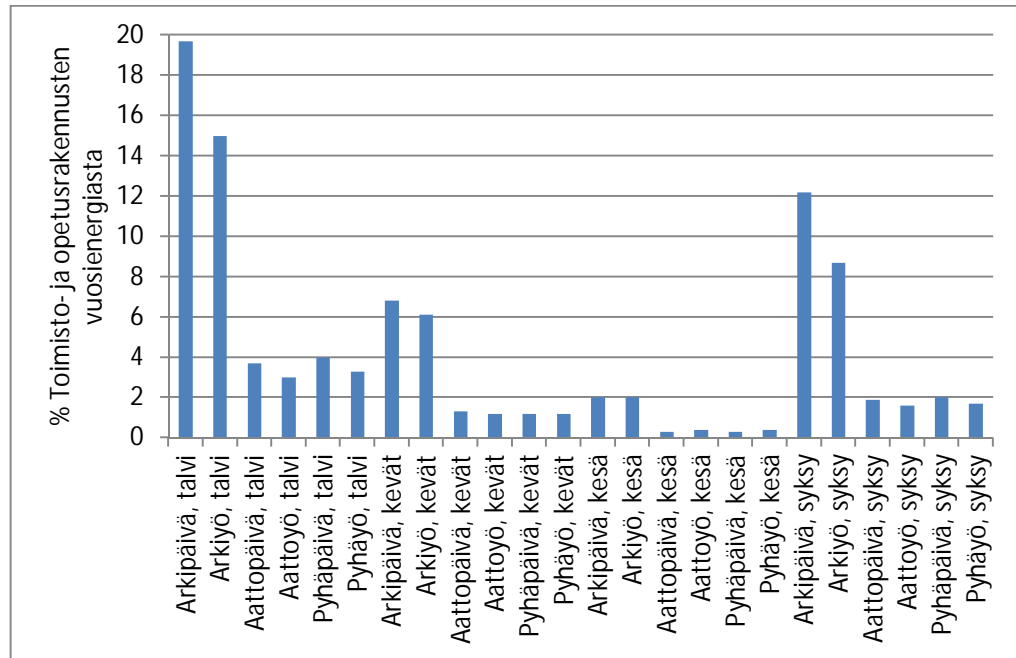


Kuva 64 T3 –alueen toimistorakennuksen kaukolämmönkulutuksen viikkoprofiili (viikko 8, 2012)
(Fortum kaukolämpöaineisto)



Kuva 65 Kuvan (Kuva 64) viikkoprofiilin keskituntiulkolämpötilat (viikko 8, 2012)

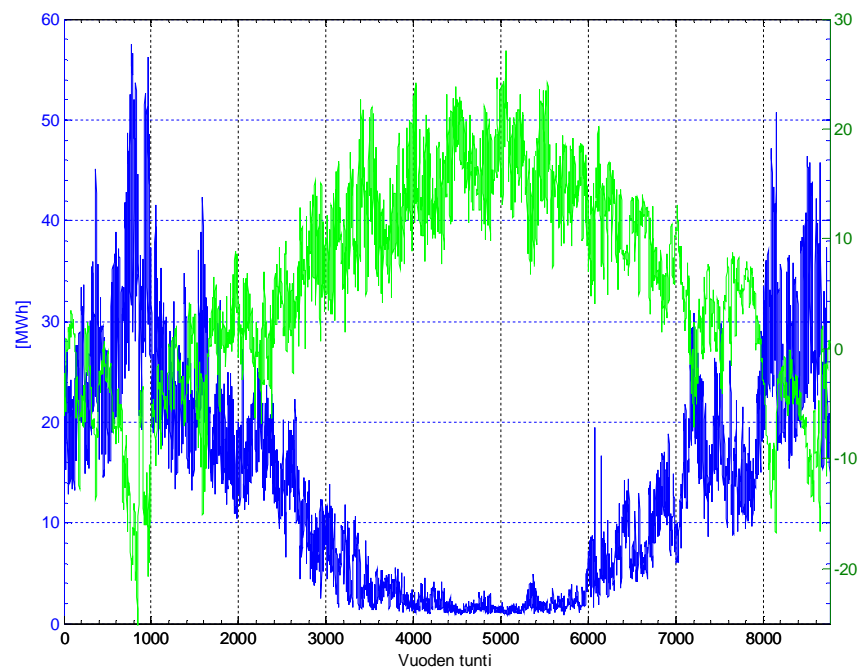
Vuosiprofiiliin perustuva toimisto- ja opetusrakennusten keskimääräinen kaukolämpöenergian tarve arki-, aatto- ja pyhäpäivinä sekä –öinä eri vuodenaikoina suhteessa rakennusluokan vuosienergiaan vuonna 2012 on esitetty kuvassa (Kuva 66).



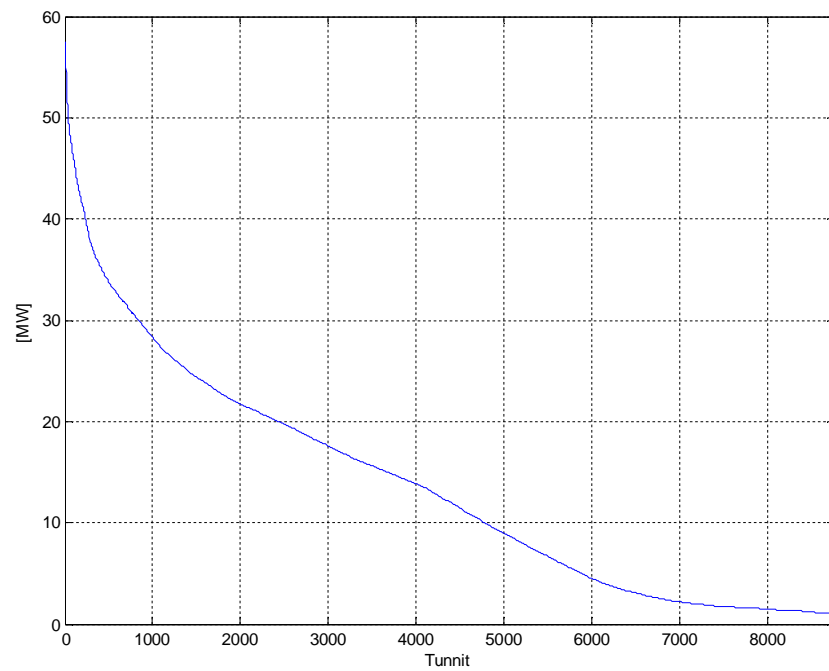
Kuva 66 T3 –alueen toimisto- ja opetusrakennusten keskimääräinen kaukolämpöenergian tarve (% vuosienergiasta 408 GWh) arki-, aatto- ja pyhäpäivinä sekä –öinä 2012

Liikerakennukset

T3 –alueella sijaitsevat liikerakennukset kuluttivat kaukolämpöä yhteensä 120 GWh vuonna 2012 eli noin kuusi prosenttia koko alueen loppukäytöstä. Kuvassa (Kuva 67) on esitetty T3 -alueen liikerakennusten kaukolämmön vuosienenergiaprofiili ja keskimääräiset tunnin ulkolämpötilat vuonna 2012. Kuvasta voidaan havaita, että myös liikerakennusten kaukolämmönkysyntä riippuu pääosin ulkolämpötilasta ja vuorokauden ajasta. Liikerakennusten tuntienenergiaprofiiliin perustuva kaukolämpökuorman pysyvyyskäyrä on esitetty kuvassa (Kuva 68).

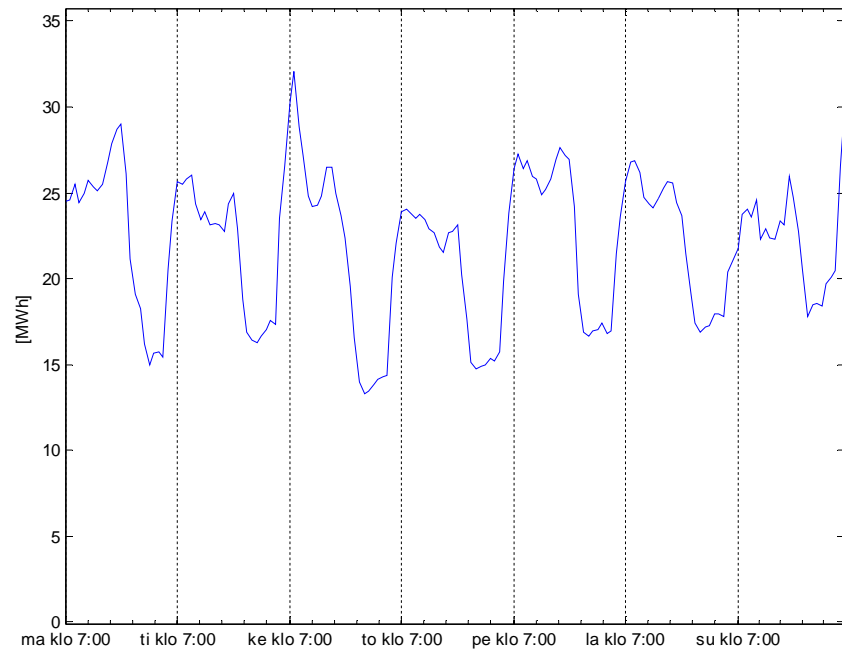


Kuva 67 T3 –alueen liikerakennusten kaukolämmöntarpeen vuosiprofiili (sininen käyrä) 2012 ja ulkolämpötila (vihreä käyrä) (Fortum kaukolämpöaineisto)



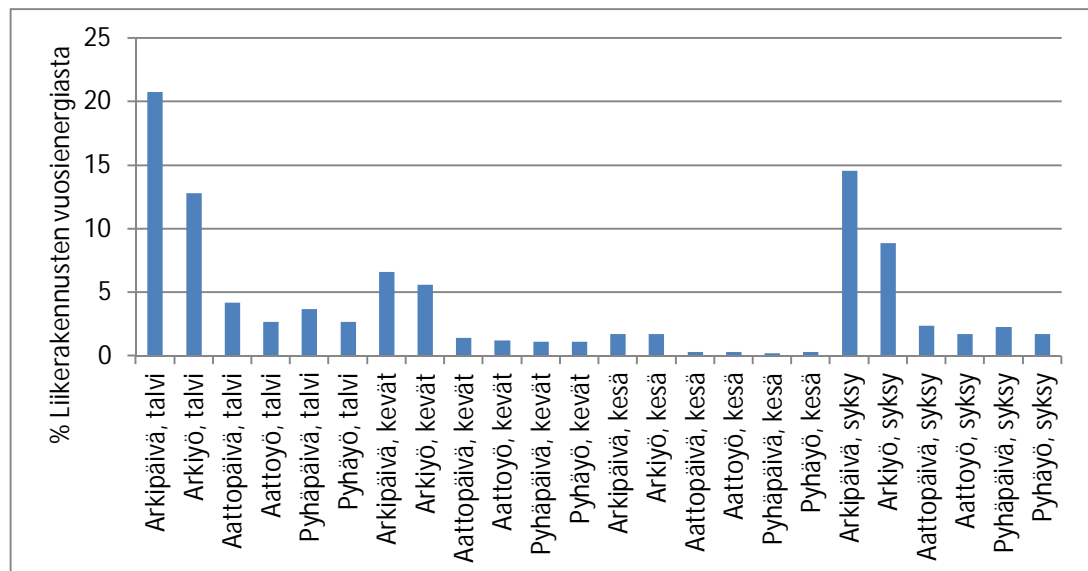
Kuva 68 T3 –alueen liikerakennusten kaukolämpökuorman pysyvyys 2012

Liikerakennusten kaukolämmönkysynnän viikkorytmi seuraa rakennuksen palveluaikoja, kuten voidaan nähdä kuvasta (Kuva 69). Kulutushuippu ajoittuu arkaamulle klo 6 -8 välille, jolloin rakennuksen lämmitystarve on suurimmillaan. Kuvassa (Kuva 65) on esitetty viikkoprofiilin tunnin keskimääräiset ulkolämpötilat.



Kuva 69 T3 –alueen liikerakennusten kaukolämmönkäytön viikkoprofiili (viikko 8, 2012) (Fortum kaukolämpöaineisto)

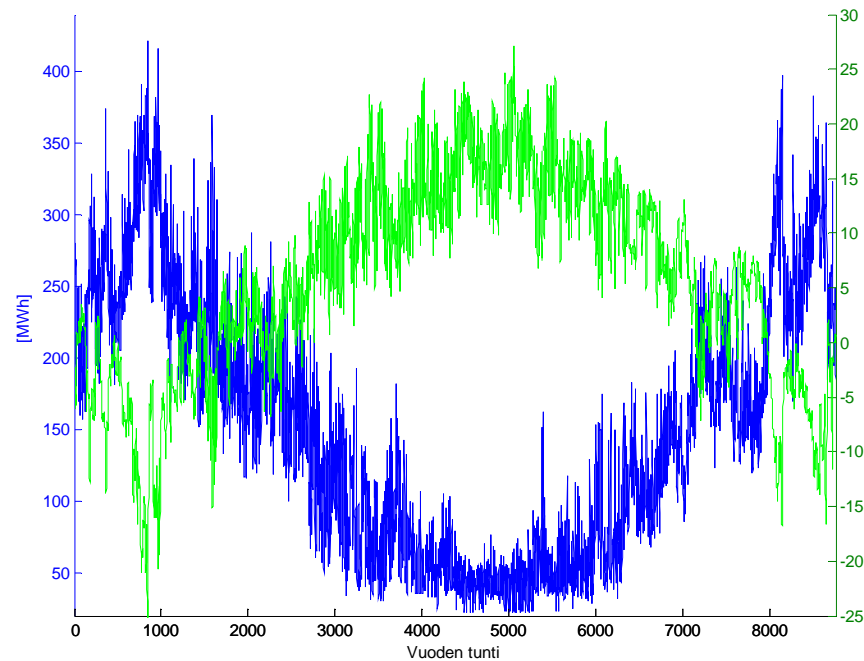
Vuosiprofiiliin perustuva liikerakennusten keskimääräinen kaukolämpöenergian tarve arki-, aatto- ja pyhäpäivinä sekä –öinä eri vuodenaikoina suhteessa rakennusluokan vuosienenergiaan vuonna 2012 on esitetty kuvassa (Kuva 70).



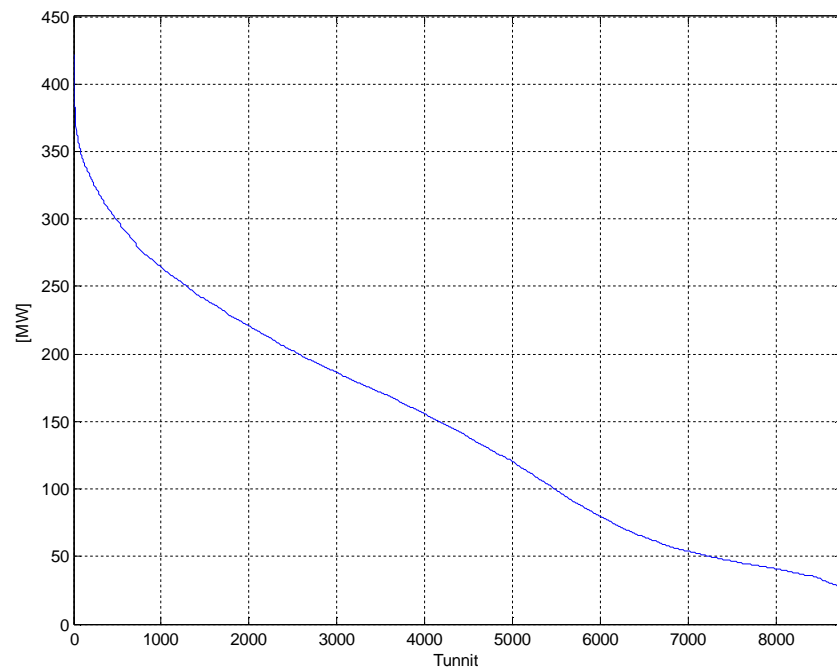
Kuva 70 T3 –alueen liikerakennusten vuoden 2012 keskimääräinen kaukolämmön tarve (% liikerakennusten vuosienenergiasta 119 GWh) arki-, aatto-, ja pyhäpäivinä ja –öinä eri vuoden aikoina

7.2.2 Asuinrakennukset

Asuinrakennusten kaukolämmöntarve oli lähes 1,3 TWh eli 60 prosenttia koko T3 – alueen loppukäytöstä vuonna 2012. Asuinkerrostalojen osuus tästä oli 63 %, rivi- ja ketjutalojen 13 % ja pientalojen kahdeksan prosenttia. Kuvassa (Kuva 71) on esitetty T3 – alueen asuinrakennusten tuntienenergiaprofiili ja keskimääräiset tunnin ulkolämpötilat vuonna 2012. Kaukolämmöntarve myös asuinrakennuksissa on pääosin ulkolämpötilariippuva mutta käyttövedenlämmitykseen tarvitaan suhteellisesti enemmän energiaa kuin toimitilarakennusten tapauksessa. T3 –alueen asuinrakennusten kaukolämpökuorman pysyvyyskäyrä on esitetty kuvassa (Kuva 72).

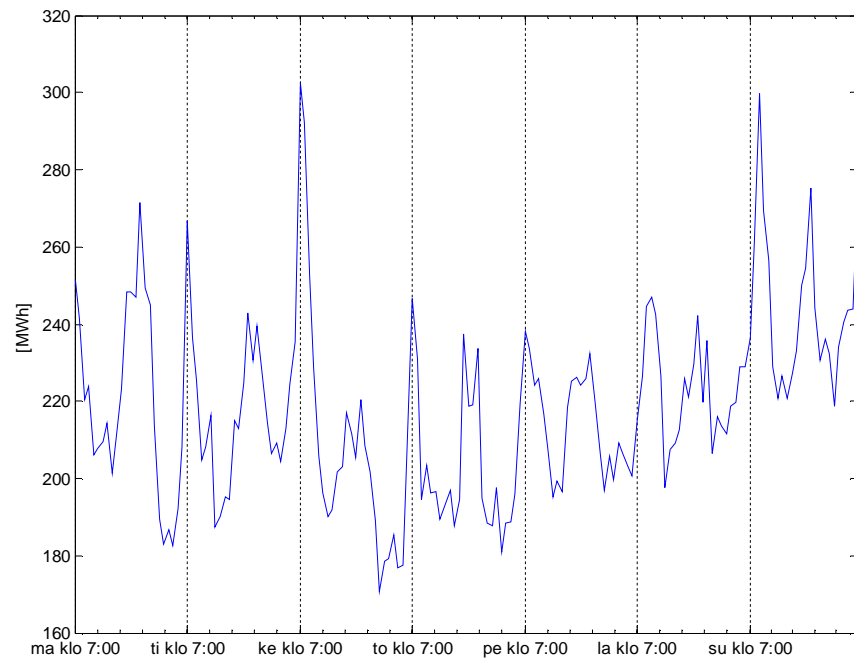


Kuva 71 T3 –alueen asuinrakennusten kaukolämpöenergia- (sininen käyrä) ja ulkolämpötilaprofiili vuonna 2012 (Fortum kaukolämpöaineisto)



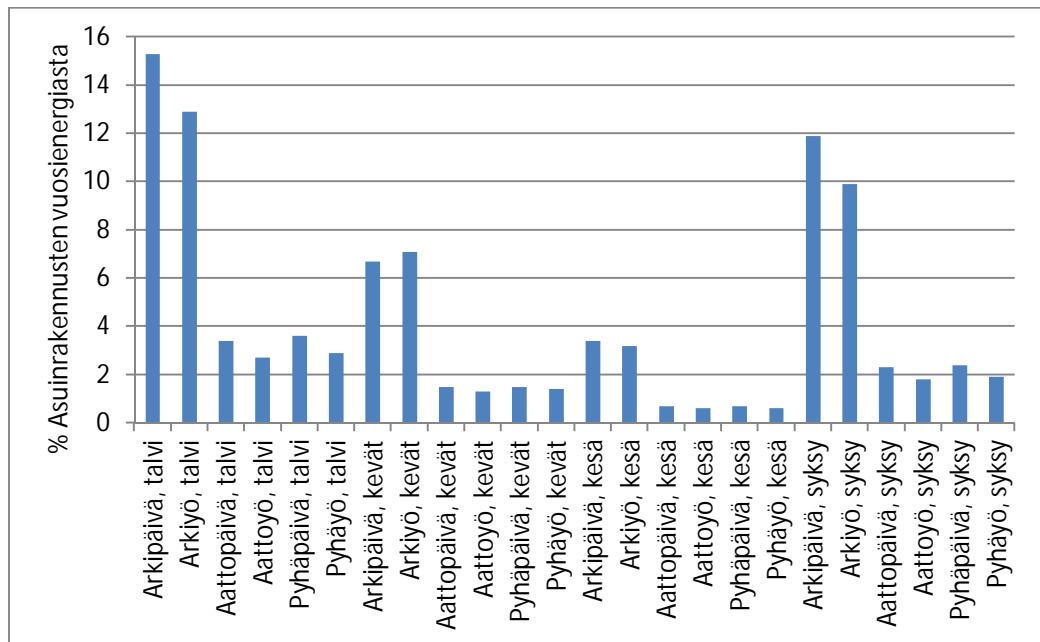
Kuva 72 T3 -alueen asuinrakennusten kaukolämpökuorman pysyvyys 2012

Viikkoprofiilista (Kuva 73) havaitaan asuinrakennuksille tyypilliset ja vuorokausitasolla esiintyvät kaksi kulutushuippua. Aamun ja illan kohonnut kaukolämmöntarve johtuneen pääosin kasvaneesta lämpimän veden tarpeesta.



Kuva 73 T3 –alueen asuinrakennusten kaukolämmöntarpeen viikkoprofiili (viikko 8, 2012) (Fortum kaukolämpöaineisto)

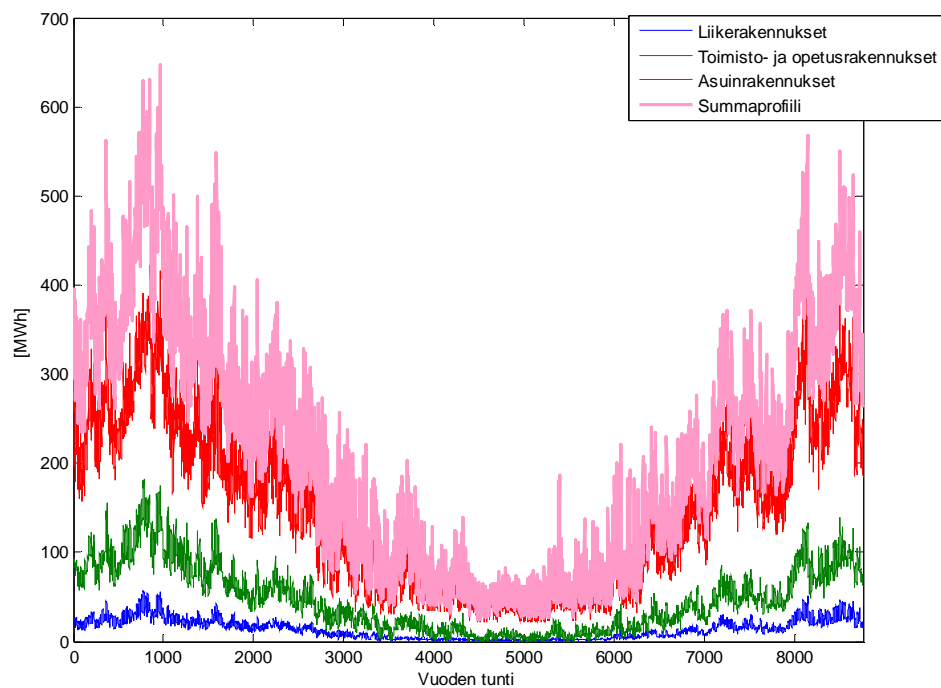
Kuvassa (Kuva 74) on esitetty T3 -alueen asuinrakennusten keskimääräinen kaukolämpöenergian tarve suhteessa rakennusluokan vuosienergiiaan arki-, aatto- ja pyhäpäivinä sekä –öinä eri vuodenaikoina vuonna 2012.



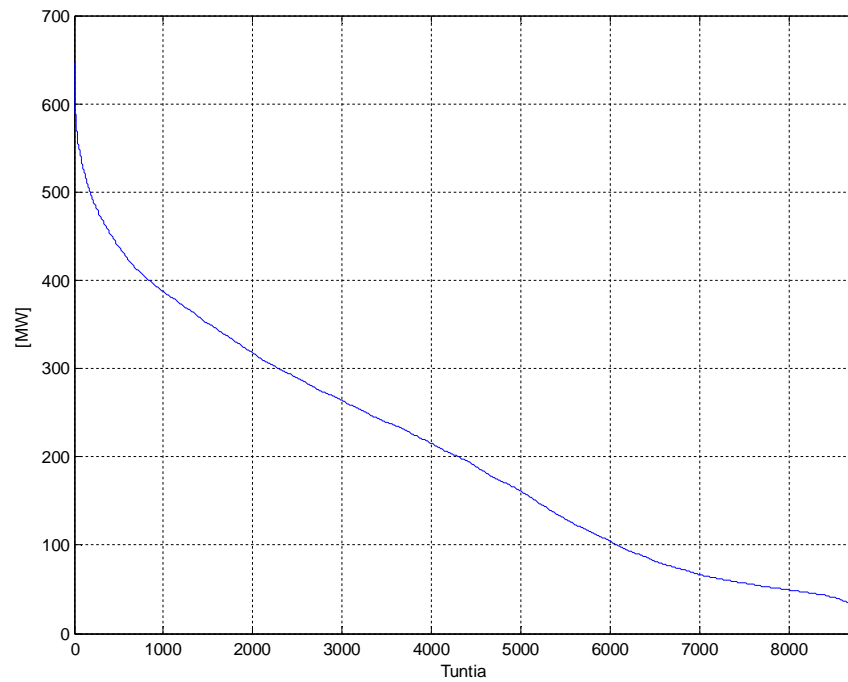
Kuva 74 T3 –alueen asuinrakennusten keskimääräinen kaukolämpöenergian tarve (% asuinrakennusten vuosienergiasta 1,3 TWh) arki-, aatto- ja pyhäpäivinä sekä öinä eri vuodenaikoina 2012

7.2.3 Asuin- ja toimitilarakennukset yhteensä

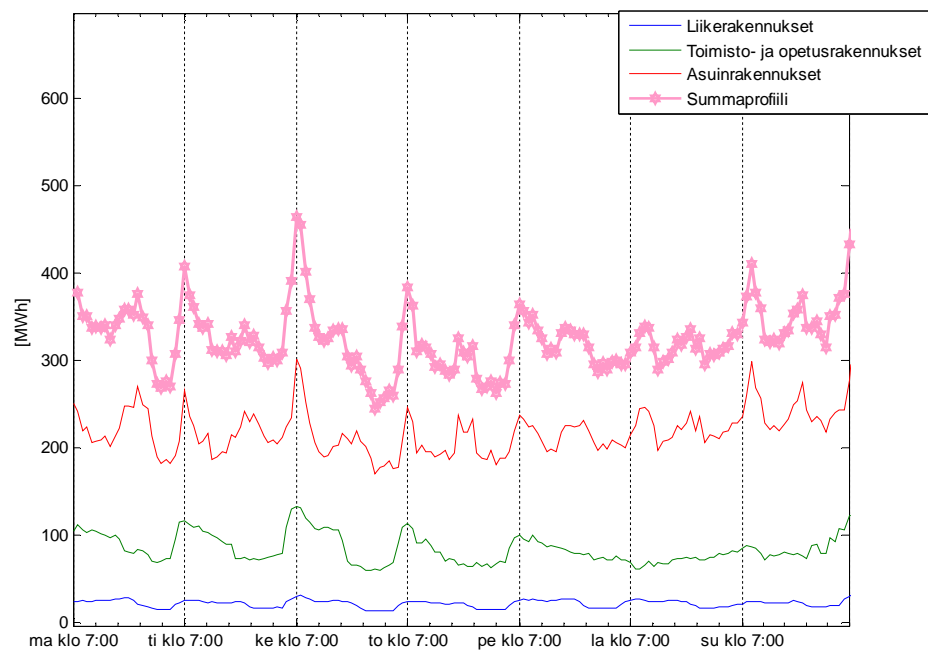
T3 –alueen asuin- ja toimitilarakennukset käyttivät kaukolämpöä yhteensä 1,8 TWh vuonna 2012. Kuvassa (Kuva 75) on esitetty asuin- ja toimitilarakennusten kaukolämmönkysynnän vuosiprofiilit ja niiden muodostama summaprofiili. Summakuorman pysyvyyskäyrä on kuvassa (Kuva 76). Summakuorman muodostuminen viikkotasolla on esitetty kuvassa (Kuva 77).



Kuva 75 T3 –alueen asuin- ja toimitilarakennusten kaukolämmöntarpeen vuosiprofiilit ja niiden summaprofiili (Fortum kaukolämpöaineisto)

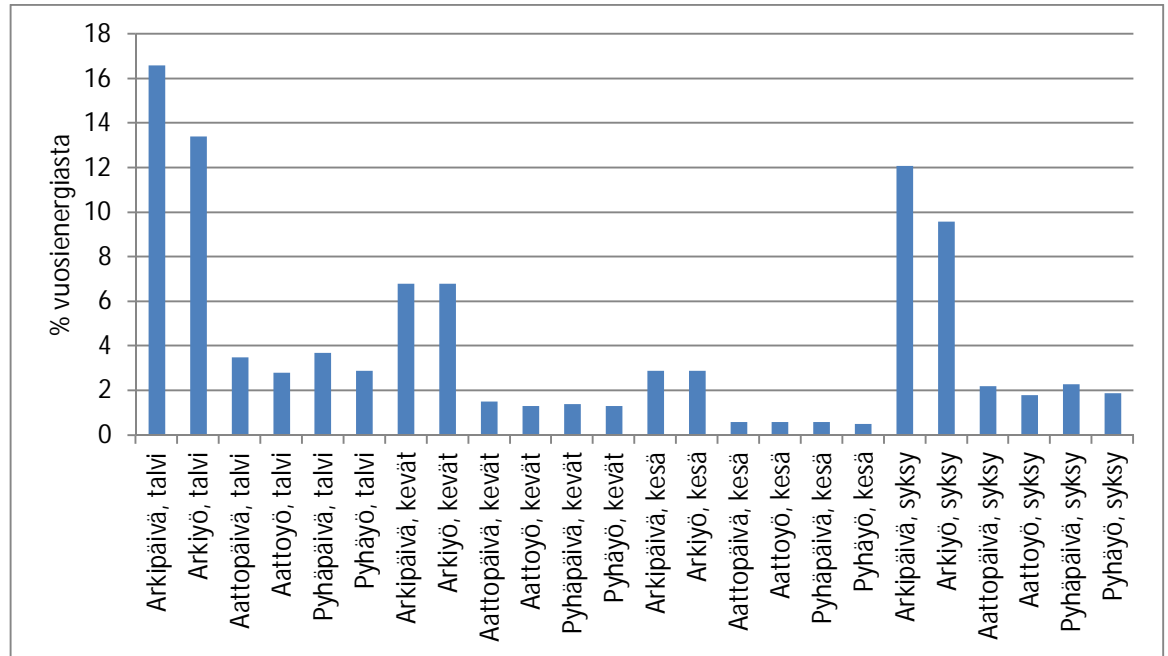


Kuva 76 T3 –alueen asuin- ja toimitilarakennusten kaukolämpökuorman pysyvyys



Kuva 77 T3 –alueen asuin- ja toimitilarakennusten kaukolämpökuorman viikkoprofiilit ja summaprofiili (viikko 8, 2012) (Fortum kaukolämpöaineisto)

Kuvassa (Kuva 78) on esitetty T3 –alueen asuin- ja toimitilarakennusten keskimääräinen kaukolämmöntarve (% vuosienergiasta 1,8 TWh) arki-, aatto- ja pyhäpäivinä ja –öinä eri vuodenaikoina.



Kuva 78 T3 –alueen asuin- ja toimitilarakennusten keskimääräinen kaukolämmöntarve (% vuosienergiasta 1,8 TWh) arki-, aatto- ja pyhäpäivinä ja –öinä eri vuodenaikoina

7.2.4 Muu kaukolämmön loppukäyttö

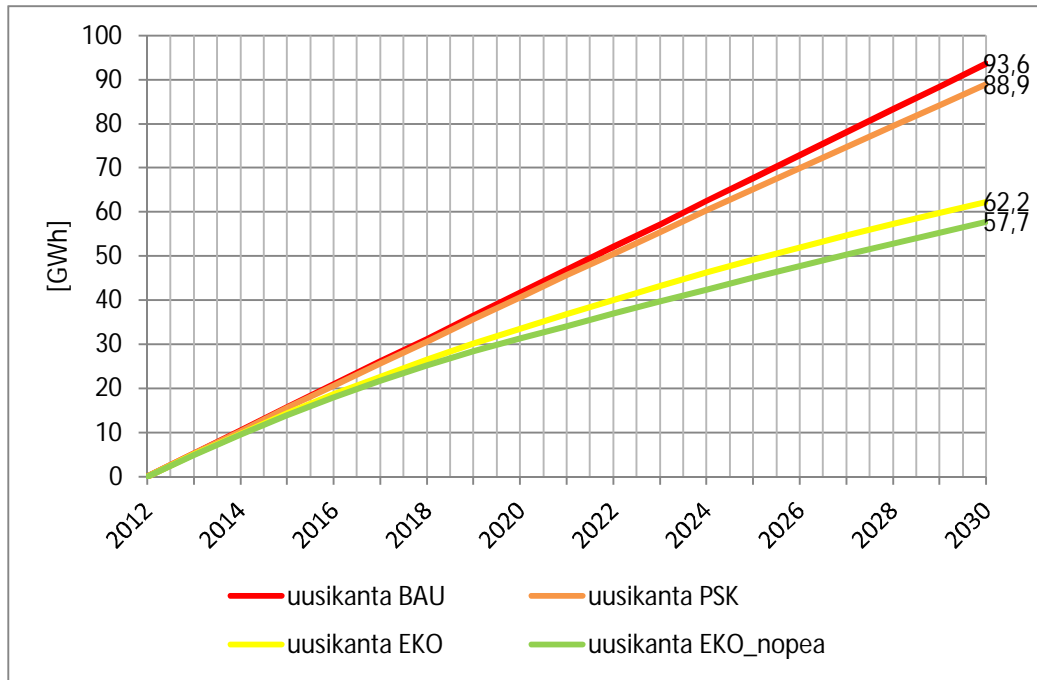
T3 –alueella muihin kuin asuin- ja toimitilarakennuksiin käytettiin kaukolämpöä 344 GWh vuonna 2012. Muuhun kulutukseen sisältyvästä kulutuksesta suurin yksittäisenä rakennusluokka oli teollisuusrakennukset, joissa (39 %) muusta loppukäytöstä tapahtui.

8 T3 –alueen rakennusten energiankäyttö 2013 – 2030

Tässä kappaleessa esitellään LEAP -ohjelmalla lähtötietojen ja yhteisten oletuksien pohjalta lasketut tulokset. Aluksi esitetään uudisrakennuskannan energian loppukysyntä ja sen jakautuminen eri rakennusluokkien kesken eri skenaarioissa. Seuraavaksi esitetään sähkön ja lämmön osuudet eri skenaarioissa energian loppukäytöstä. Lopuksi tarkastellaan uudisrakennusten energiantarpeen ja paikallisen tuotannon vaikutusta ostosähkön ja –lämmön kysyntöihin tarkastelujakson aikana.

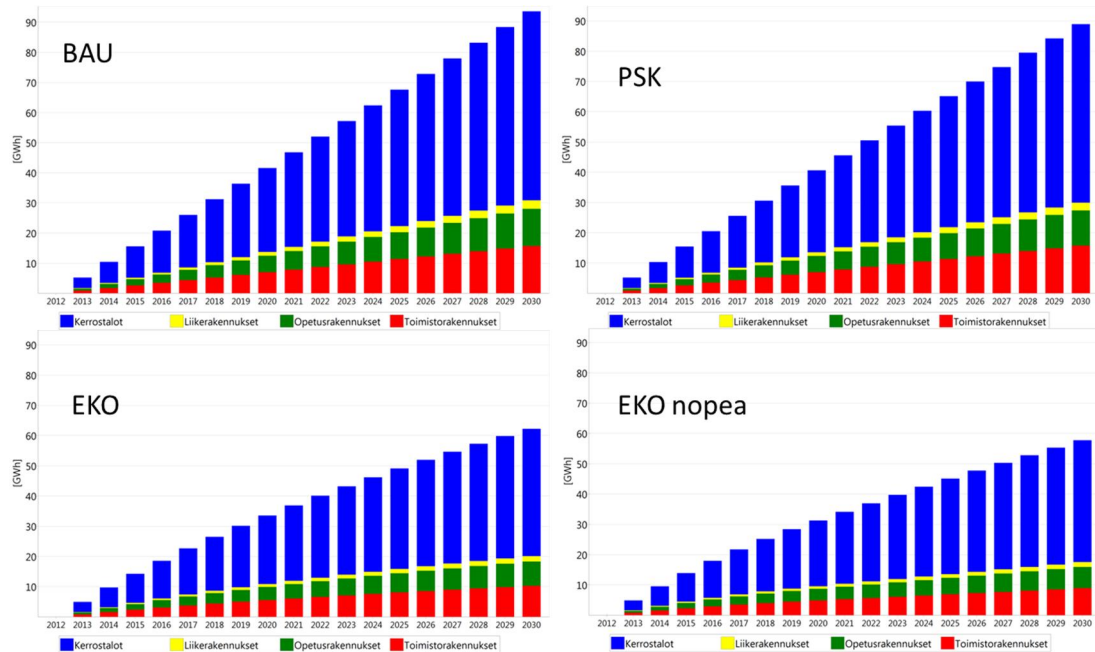
8.1 Uudisrakennuskanta

T3 –alueen uudisrakennusten energian loppukäyttö tutkituissa skenaarioissa on esitetty kuvassa (Kuva 79). Rakentamisen energiatehokkuuden pysyessä nykyisten määräysten tasoisena (BAU) koko tarkastelujakson ajan kasvaisi vuoden 2012 jälkeen rakennettujen rakennusten energian kysyntä lineaarisesti 94 GWh:iin vuonna 2030. EKO nopea –skenaarion mukainen kehitys vähentäisi energiankysyntää noin 38 % vastaavassa rakennusmassassa BAU –skenaarioon verrattuna. Kuvasta on havaittavissa, että EKO –skenaarioiden mukaisesti kehittyvä energiatehokkuus alkaa nopeasti hidastamaan energian kysynnän kasvua uudisrakennuskannassa. Ero kahden EKO –skenaarion välillä on 4,5 GWh, joka on noin seitsemän prosenttia EKO nopea –skenaarion hyväksi vuonna 2030.



Kuva 79 T3 –alueen uudisrakennusten energiankysyntä vuoteen 2030 mennessä eri skenaarioissa.

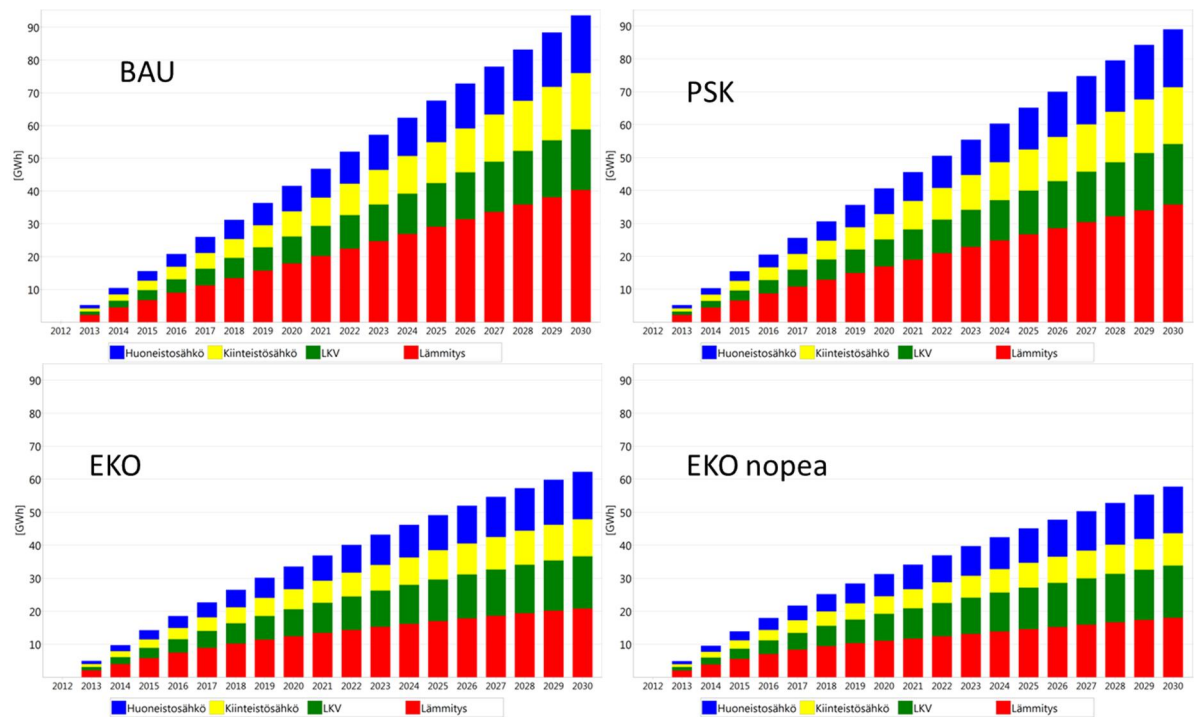
T3 –alueen uudisrakennusten energian loppukäytön jakautuminen toimitila – ja asuinrakennusten kesken eri skenaarioissa on esitetty kuvassa (Kuva 80). Asuinrakennusten lämmitysenergiantarve on oletusten mukaisesti T3 –alueen määräävä myös uudisrakentamisessa ja se on yli puolet loppukäytöstä kaikissa skenaarioissa tarkastelujakson aikana.



Kuva 80 Energian loppukäytön jakautuminen rakennusluokittain skenaarioissa

Loppukäytön muodostuminen

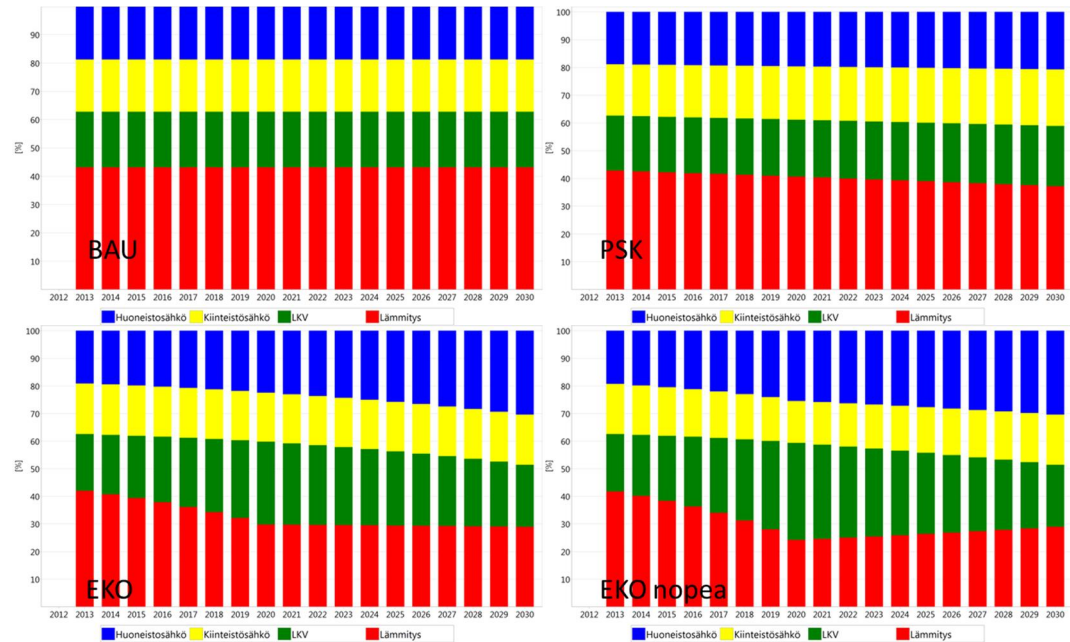
Uudisrakennusten energian loppukäyttö muodostuu kiinteistö- ja huoneistosähköstä, käyttöveden lämmitysenergiasta ja tilojen lämmitysenergiasta. Kuvassa (Kuva 81) on havainnollistettu loppukäytön muodostumista tutkituissa skenaarioissa. Kuvasta voidaan nähdä, että rakennusten lämmitykseen käytetyn energian osuus on merkittävin BAU, PSK ja EKO –skenaarioissa mutta EKO nopea –skenaariossa on käyttöveden lämmitysenergian osuus kasvaa lähes yhtä merkittäväksi kuin tilojen lämmitykseen tarvittavan energian vuonna 2030.



Kuva 81 Huoneisto- ja kiinteistösähkön, käyttöveden lämmitysenergian ja tilojen lämmitysjärjestelmän energian osuudet eri skenaarioissa

Kuvassa (Kuva 81) havainnollistetaan huoneisto- ja kiinteistösähkön, käyttöveden lämmitysenergian ja tilojen lämmitysenergian suhteellisiä osuuksia kunakin skenaariovuotena toteutuneessa rakennusmassassa eri skenaarioiden kesken. PSK – skenaariossa tilojen lämmitykseen tarvittava energia suhteellinen osuus vähenee tasaisesti. EKO- ja EKO nopea –skenaarioissa on nähtävissä kuinka käyttöveden lämmitysenergian ja huoneistosähkön suhteelliset osuudet kasvavat kun rakentamisessa siirrytään matala- ja passiivienergiatasoille vuonna 2020. Vuodesta 2021 eteenpäin huoneis-

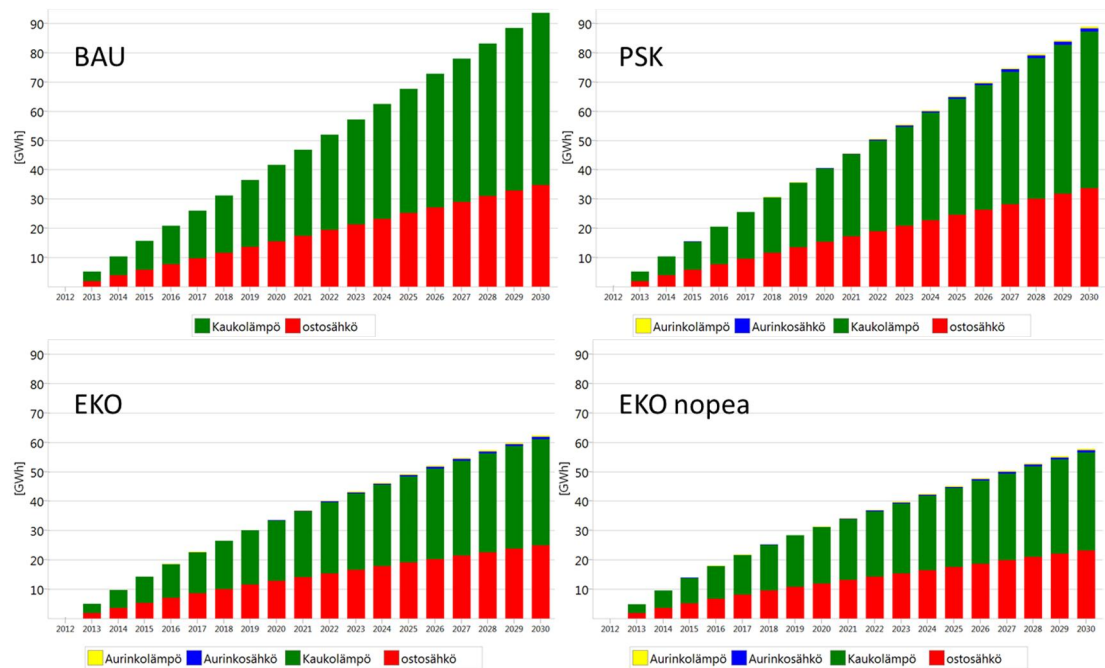
tosähkön suhteellinen osuus kasvaa tasaisesti ja vuonna 2030 toteutuvassa rakennuskannassa sen suhteellinen osuus on 30 prosenttia tilojen lämmitysenergian osuuden jäädessä alle 30 prosentin.



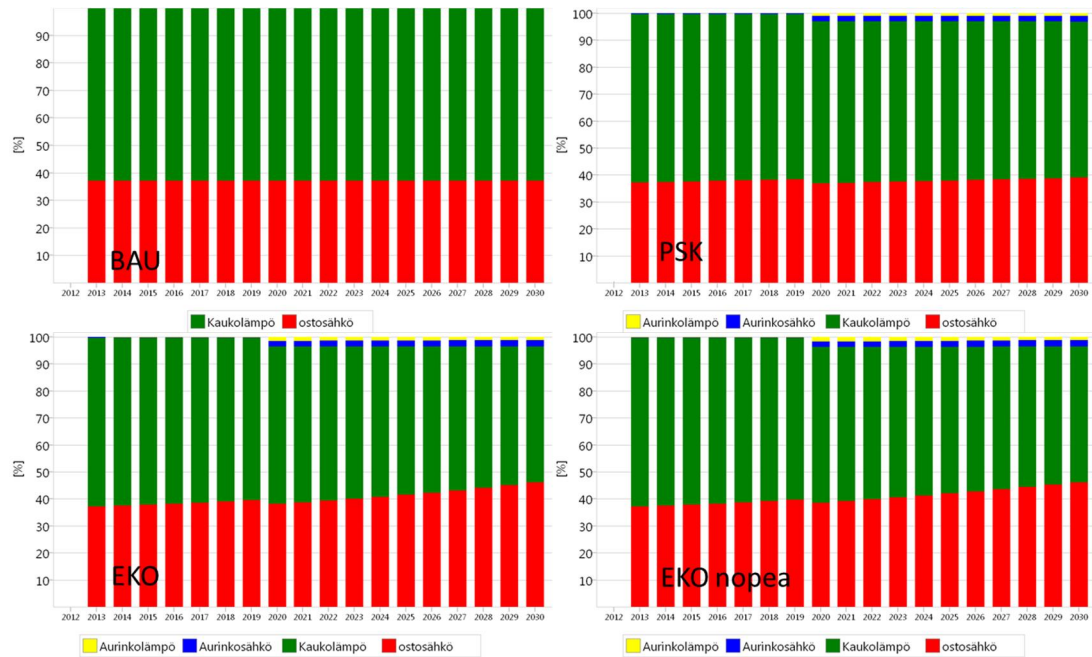
Kuva 82 Huoneisto- ja kiinteistösähkön, käyttöveden lämmitysenergian ja tilojen lämmitysenergian suhteelliset osuudet eri skenaariovuosina toteutuneissa rakennusmassoissa

8.1.1 Rakennuskohtainen aurinkoenergiantuotanto

Skenaarioissa tarkasteltiin paikallisen aurinkosähkö- ja aurinkolämpötuotannon vaikutusta uudisrakennusten ostoenergiantarpeeseen. Energian loppukäyttö hankintalähteen mukaan eri skenaarioissa näkyy kuvassa (Kuva 83). Skenaarioissa aurinkolämpö syrjäyttää kaukolämpöä ja aurinkosähkö kiinteistö- ja huoneistossähköä. Kaikissa skenaarioissa ostolämmön osuus loppukäytöstä on suurin koko tarkastelujaksolla mutta sen suhteellinen osuus pienenee vertailuskenaarioissa tasaisesti vuosittaisissa uudisrakennusmassoissa, kuten voidaan havaita kuvasta (Kuva 84).



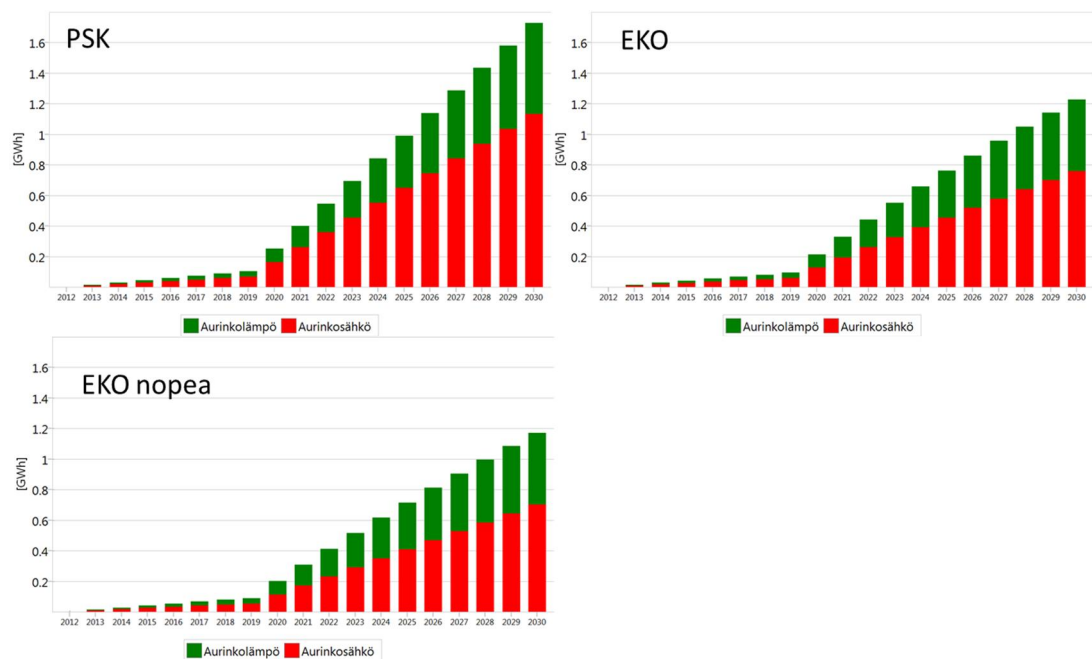
Kuva 83 Eri hankintalähteiden osuudet energian loppukäytöstä eri skenaarioissa



Kuva 84 Energianhankintälähteiden suhteelliset osuudet eri skenaariovuosina toteutuneissa rakennus-

massoissa

Aurinkoenergiaosuus uudisrakennusten loppukäytöstä eri skenaarioissa on 1,9 - 2,1 prosenttia vuonna 2030. Kumulatiivisesti aurinkoenergialla syrjäytetty ostolämpö ja -sähkö uudisrakennuskannassa on esitetty kuvassa (Kuva 85).



Kuva 85 Aurinkoenergialla syrjäytetty (kumulatiivinen) ostosähkö ja ostolämpö eri skenaarioissa

8.2 Nykyinen rakennuskanta

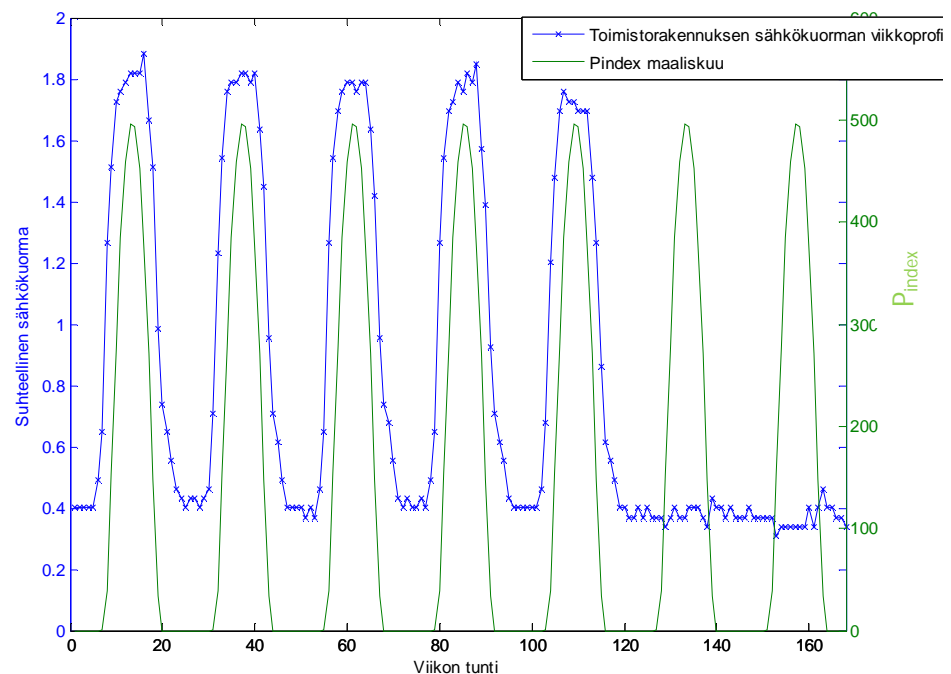
T3 –alueen nykyisen rakennuskannan sähkönkysyntä oli 283 GWh vuonna 2012. Rakennuskannan käyttökelpoisten kattopintojen aurinkosähkötuotantopotentiaalin on laskettu olevan 16 prosenttia alueen nykyisestä sähkön kulutuksesta eli noin 44 GWh [74]. Mikäli tästä aurinkosähkötuotantopotentiaalista toteutuu prosentti vuoteen 2020 mennessä ja 10 prosenttia vuoteen 2030 mennessä niin aurinkosähköä tuotetaan olemassa olevissa rakennuksissa 440 MWh vuonna 2020 ja 4,4 GWh vuonna 2030.

Kaukolämpöä myytiin T3 –alueelle 2,17 TWh vuonna 2012. Olettamalla, että 20 prosenttia tästä kului käyttöveden lämmittämiseen, oli tilojen lämmittämiseen käytetty kaukolämpöenergia 1,74 TWh. Mikäli nykyisen rakennuskannan ominaislämmönkulutus alenisi Pääkaupunkiseudun ilmastostrategian tavoitteen mukaista kehityspolkua eli prosentin vuodessa, olisi nykyisen rakennuskannan tilojen lämmittämiseen käytetty kaukolämpöenergia 1,45 TWh vuonna 2030. Mikäli ominaislämmönkulutus alenisi vain puoli prosenttia vuodessa niin, olisi nykyisen rakennuskannan tilojen kaukolämmön tarve 1,59 TWh vuonna 2030.

8.3 Rakennusten energiankysyntä ja aurinkoenergian saatavuus

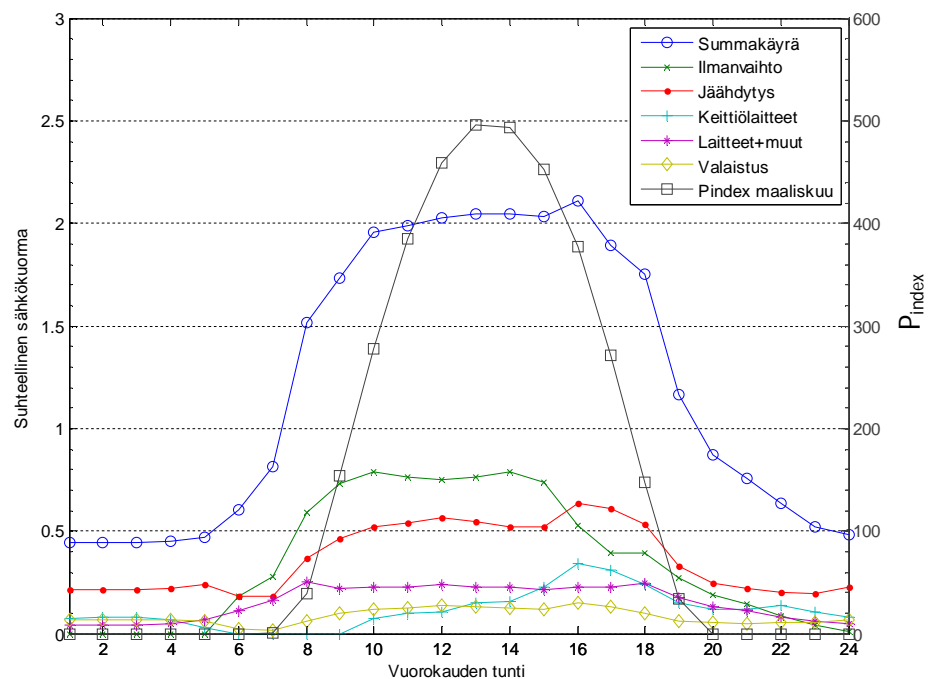
8.3.1 Vuorokautinen sähkönkysyntä ja aurinkoenergian saatavuus

Tässä kappaleessa on tarkasteltu rakennusten suhteellista sähkön kysyntää ja aurinkoenergian saantia vuorokausitasolla. Aurinkoenergian saatavuutta on tarkasteltu aurinkotuotantomallin keskimääräisillä maaliskuun tuntitehoindekseillä. Muiden kuukausien indeksi on esitetty luvun 6.1 kuvassa (Kuva 40). Rakennusten sähkön kysyntää on arvioitu tuntityyppikäyrillä. Aurinkosähkön saatavuuden tuntitehoindeksit maaliskuussa ja toimistorakennuksen sähkökuorman viikkoprofiili on esitetty kuvassa (Kuva 86). Keskimääräisen toimistorakennuksen sähkönkäyttö noudattelee rakennuksen päivittäisiä käyttöaikoja. Arkipäivisin sähkökuorman pysyy noin 7 tuntia (klo 10 – 17) yli nelinkertaisena peruskuormaan verrattuna. Toimiston standardikäyttöaikoina aurinkoenergiaa on saatavilla ($P_{\text{index}} \geq 200$) ympäri vuoden marras-, joului- ja tammikuuta lukuun ottamatta. Lisäksi kuvasta voidaan havaita, että arkipäivisin toimistorakennuksen sähkökuorman huippu ajoittuu alkuiltapäivään, jolloin myös aurinkoenergian saatavuus on huipussaan.



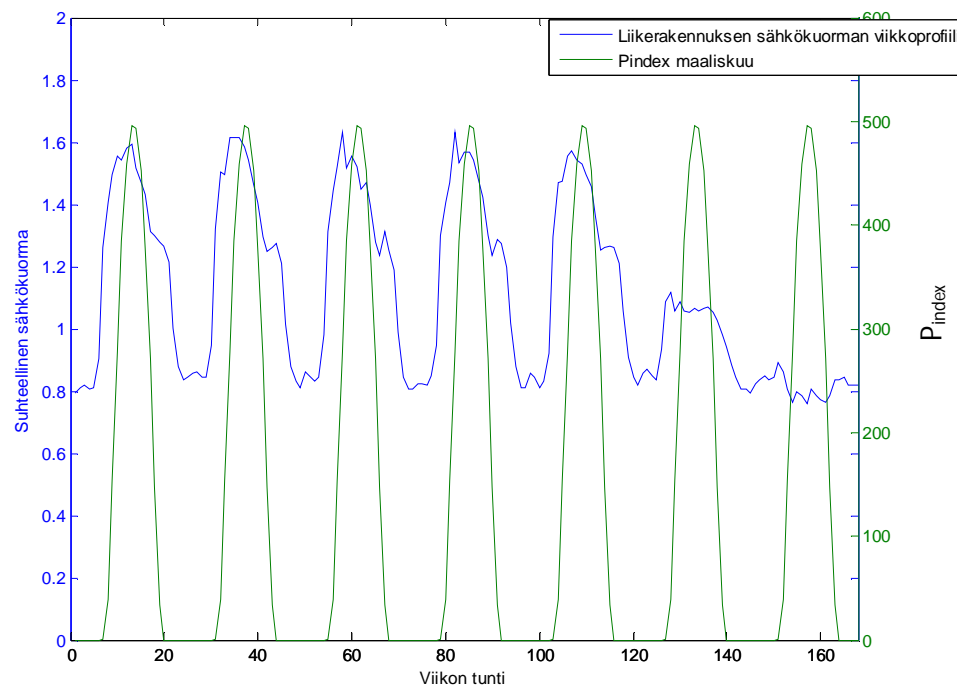
Kuva 86 Toimistorakennuksen sähkökuorman viikkoprofiili ja viikon aurinkotuototon tuntitehoindeksit maaliskuussa

Keskimääräisen toimistorakennuksen arkipäivän sähkökuorman jaottelu ja summa-kuorma sekä aurinkosähkön saannin tuntitehoindeksit maaliskuussa on esitetty kuvassa (Kuva 87). Toimiston arkipäivän sähkökuorma koostuu pääosin ilmanvaihdon, jäähdytyksen, valaistuksen, keittilaitteiden ja toimistolaitteiden sähkön käytöstä. Eri-tyisesti ilmanvaihto- ja jäähdytyskuormien vuorokautiset kulutushuiput näyttäisivät ajoittuvan aurinkoenergian saatavuuden huipun ympäristöön. Toimistorakennuksissa aurinkosähköllä vaikuttaisi olevan merkittävä potentiaali arkipäivien huippukuorman leikkaamisessa.



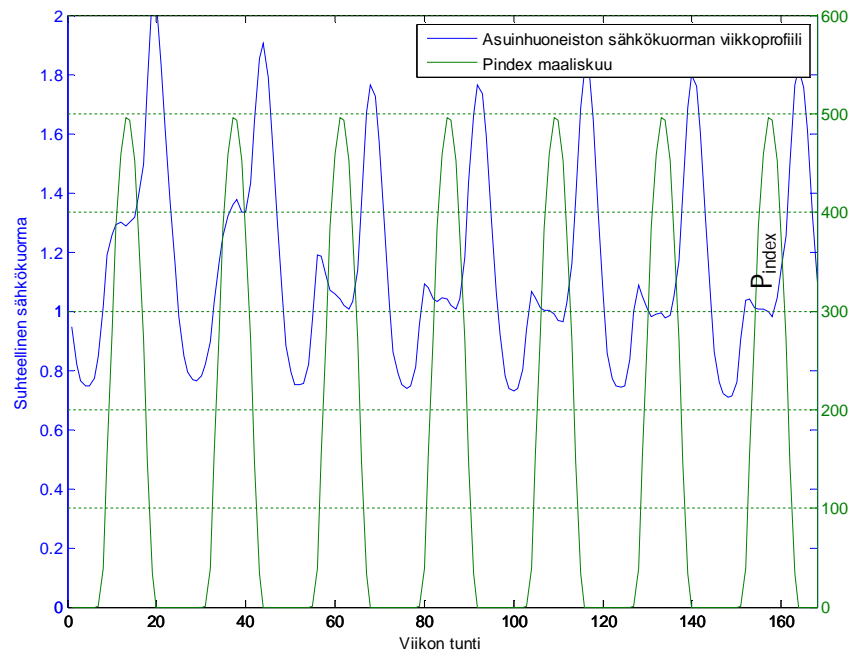
Kuva 87 Toimiston keskimääräisen arkipäivän sähkökuorman muodostuminen [68] ja maaliskuun aurinkotuoton tuntitehoindeksit [69]

Kuvassa (Kuva 88) on tyypillisen liikerakennuksen sähkökuorman viikkoprofiili ja keskimääräisen maaliskuun päivän tuntitehoindeksit aurinkoenergian saatavuudelle. Liikerakennuksissa sähkökuorman päivittäinen huippu ajoittuu tavallisesti aamupäivälle. Aurinkoenergian saatavuus on puolestaan huipussaan alkuiltapäivästä. Aurinkosähköllä näyttäisi kuitenkin olevan myös merkittävä potentiaali sähkökuorman leikkaamisessa liikerakennusten käyttöaikoina.



Kuva 88 Liikerakennuksen suhteellinen sähkökuorman viikkoprofiili ja viikon aurinkotuotannon tunti-tehoindeksit maaliskuussa

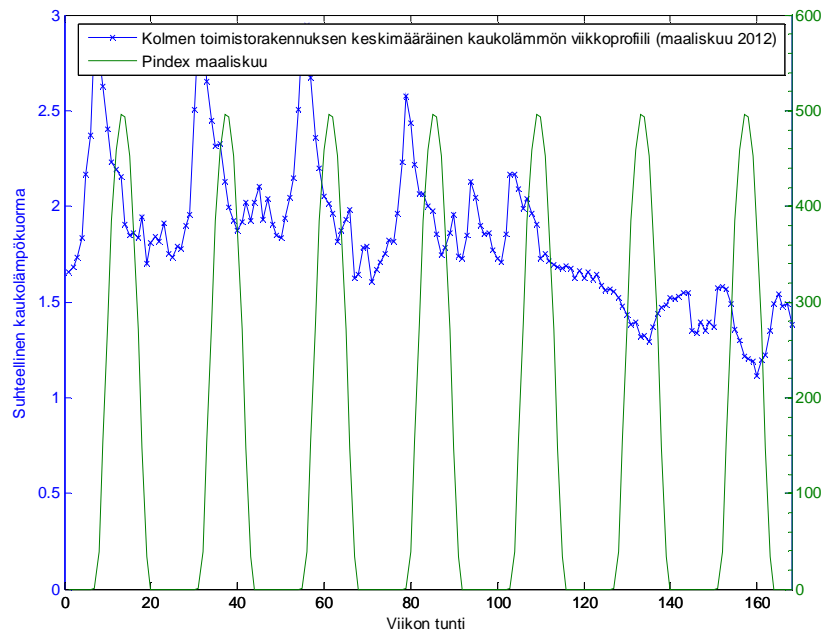
Asuinhuoneistojen sähkönkäyttöprofiili poikkeaa merkittävästi toimisto- ja liikerakennusten sähkönkäyttöprofiileista. Asuinhuoneistossa on tavallisesti kaksi sähkönkulutushuippua yksi aamulla ja toinen suurempi illalla (Kuva 89). Aurinkotuotannon huippu puolestaan ajoittuu näiden kysyntähuippujen väliin. Tämän johdosta aurinkosähkön hyödyntäminen kulutushuippujen leikkaamiseksi vaatii energiavaraston tai energiahallintajärjestelmän, jonka avulla esimerkiksi osa illan sähkökuormista voitaisiin ajoittaa päivälle.



Kuva 89 Asuinhuoneiston sähkökuorman viikoprofiili (LA-PE) ja viikon aurinkotuotannon tuntitehoindeksit maaliskuussa

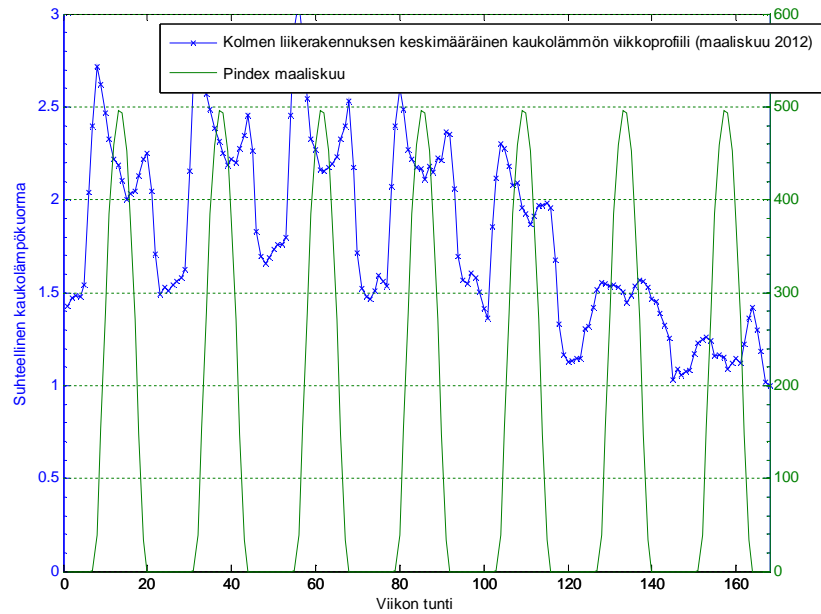
8.3.2 Kaukolämmönkysyntä ja aurinkoenergian saatavuus vuoro- kausitasolla

Tässä luvussa on tarkasteltu aurinkoenergian saatavuutta ja kaukolämmön kysyntää viikko- ja vuorokausitasolla eri rakennusluokissa. Toimistorakennuksen lämmöntarve on huipussaan arkipäivisin klo 7 aikoihin (Kuva 64 ja Kuva 90). Tämän jälkeen lämmönkysyntä laskee nopeasti arkipäivän peruskuorman tasolle.



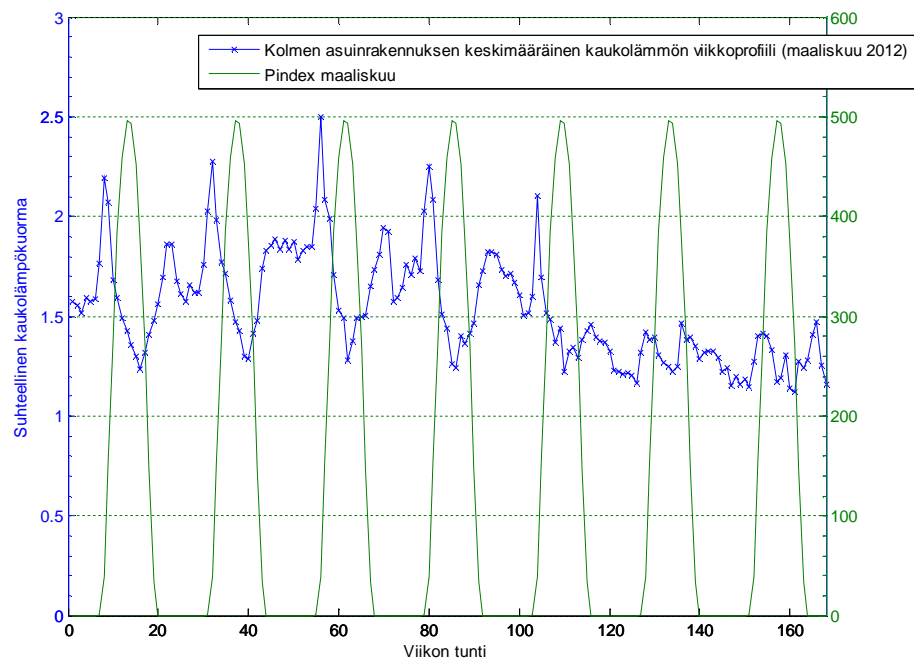
Kuva 90 Toimistorakennuksen keskimääräinen kaukolämmönkysynnän viikkoprofiili ja maaliskuun aurinkoenergian tuotannon tuntitehoindeksit

Liikerakennuksissa lämmöntarve on myös huipussaan arkipäivisin mutta lisäksi alkuiltapäivästä kysynnässä on toinen matalampi huippu, jonka jälkeen lämmöntarve laskee hyvin nopeasti peruskuorman tasolle (Kuva 91). Toisin kuin toimistorakennuksessa liikerakennuksen arkipäivien lämmöntarve näyttäisi pysyvän peruskuormaa korkeammalla tasolla koko päivittäisen käyttöajan.



Kuva 91 Liikerakennusten keskimääräinen kaukolämmönkysynnän viikkoprofiili ja maaliskuun aurinkoenergiantuotannon tuntitehoindeksit

Asuinrakennuksissa lämmönkysyntä on myös korkeimmillaan arkipäivisin ja jälleen iltaisin. Arkisin lämmönkysyntä on matalimmillaan keskipäivällä. Viikonloppuisin lämmöntarve tasoittuu arkipäivien peruskuormaa alemmalle tasolle. (Kuva 92)



Kuva 92 Asuinrakennusten keskimääräinen kaukolämmönkysynnän viikkoprofiili ja maaliskuun aurinkoenergian tuotannon tuntitehoindeksit

Tarkasteltaessa aurinkoenergian saatavuutta ja rakennusten lämmöntarvetta vuorokausitasolla voitaneen todeta, että aurinkoenergian käyttö lämmön kysyntähuippujen leikkaamisessa ei liene taloudellisesti perusteltua eikä myöskään mahdollista ilman sopivaa lämpövarastoa. Aurinkoenergialla näyttäisi kuitenkin olevan merkittävä potentiaali rakennuksen ostolämmöntarpeen vähentämisessä. Erityisesti liikerakennusten lämmöntarve on arkipäivien käyttöaikoina, jolloin aurinkoenergiaa on hyvin saatavilla, pysyttelee korkealla tasolla rakennuksen peruskuormaan verrattuna.

8.4 Jäteveden lämmön hyödyntämisen energiansäästöpotentiaali

Tässä kappaleessa on arvioitu rakennuskohtaisesti toteutetun jätevesien lämmön talteenoton ja -käytön energiansäästöpotentiaalia T3 –alueen rakennuksissa vuonna 2030. Tarkastelussa on oletettu, että:

- skenaarioiden käyttöveden lämmitysenergia on jakautunut tasaisesti kaikkien rakennusten kesken ja talteenottojärjestelmiä on käytössä 80 prosentissa uudisrakennuksista vuonna 2030.
- Lämpöpumpulla tuotetaan 48 % tarvittavasta käyttöveden lämmitysenergiasta ja lämpöpumpun hyötysuhde (COP) on 5,5 [42].
- Käyttöön saatavan lämmön laskentaperiaate $E_{\text{jätevesi_poten}} = 0,8 * E_{\text{LKV_tot_ske_2030}} * 0,48$

Uudisrakennusten harmaavesien lämmön hyötykäyttöpotentiaalia on arvioitu skenaarioissa laskettujen käyttöveden lämmitysenergiatarpeiden perusteella. PSK –skenaariossa käyttöveden lämmittämiseen tarvitaan 18,4 GWh ja EKO –skenaarioissa 15,8 GWh kaukolämpöenergiaa vuonna 2030. Tästä energiasta aurinkolämmön oletetaan syrjäyttävän kaukolämpöä 0,6 GWh PSK - ja 0,5 GWh EKO –skenaarioissa vuonna 2030.

Näiden lähtötietojen ja oletuksien perusteella uudisrakennuskannan jätevedestä talteen otetun lämmön avulla voitaisiin vähentää käyttöveden lämmitysenergiaa lähes 39 prosenttia eli PSK –skenaariossa 7,1 GWh ja EKO –skenaarioissa 6,1 GWh vuonna 2030. Lämpöpumppujen sähköntarve kasvattaisi sähkönkysyntää PSK –skenaariossa 1,3 GWh ja EKO –skenaarioissa 1,1 GWh. Näin ollen käyttövedenlämmitykseen tarvittavan ostoenergian vähennys olisi noin 32 prosenttia eli 5,8 GWh PSK - ja 5 GWh EKO –skenaariossa. Käyttöveden lämmitykseen tarvittavan kaukolämpöenergia aurinkolämpö- ja jäteveden talteenottolämpö huomioden vähenisi 7,7 GWh PSK –skenaariossa ja 6,6 GWh EKO –skenaarioissa eli lähes 42 prosenttia vuonna 2030.

Olemassa olevan rakennuskannan kaukolämmönkulutus oli 2,17 TWh vuonna 2012. Olettamalla, että 20 % [41] tästä kului lämpimän käyttöveden valmistamiseen, niin käyttöveden lämmitykseen käytettiin kaukolämpöenergiaa 434 GWh. T3 –alueen kerrosalasta 46 prosenttia on rakennettu vuosien 1949 - 1980 välisenä aikana. Olettamalla, että tähän kerrosalaan sisältyvät rakennukset on linjasaneerauksen yhteydessä varustettu jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmällä, jonka avulla 48 prosenttia käyttö-

veden lämmitystarpeesta voidaan kattaa vuonna 2030, niin käyttöveden lämmityksen energiansäästöpotentiaaliksi saadaan 96 GWh. Olemassa olevassa rakennuskannassa käyttöveden lämmityksen kaukolämmöntarve olisi näin ollen 338 GWh vuonna 2030. Lämmöntalteenoton lämpöpumput puolestaan lisääisivät sähkönkäyttöä 17,5 GWh olemassa olevassa rakennuskannassa, jolloin käyttövedenlämmitykseen tarvittava os-toenergia vähentyisi 78,5 GWh eli noin 18 prosenttia.

9 Yhteenveto ja johtopäätelmät

Tämän työn päätavoitteena oli luoda skenaarioita T3 –alueen energiankysynnälle ja –käytölle vuoteen 2030. Lisäksi työssä oli tarkoitus selvittää nykyinen palvelu- ja asuinrakennusten sähkön- ja lämmönkäytön ajallinen vaihtelu sekä arvioida miten sähkön- ja lämmönkäyttö edellä mainituissa rakennuksissa tulee muuttumaan energiatehokkuustoimien, paikallisen tuotannon, energiavarastojen ja kysyntäjouston vuoksi. Kaikkia asetettuja tavoitteita ei tämän työn puitteissa saavutettu ja etenkin eri aineistojen yhteensovittaminen osoittautui oletettua hankalammaksi tehtäväksi, jonka vuoksi nykyisen rakennuskannan energiantarpeen kehitystä arvioitiin kokonaisuutena sähkön- ja kaukolämmön vuosienenergioihin perustuen.

Skenaarioissa tarkasteltiin uudisrakennuskannan energiatehokkuuden kasvun ja paikallisen aurinkoenergian tuotannon vaikutusta uudisrakennusten ostoenergian tarpeeseen. Skenaarioiden lähtötietoina toimivat maankäyttösuunnitelmien mahdollistamat toimitila- ja asuinkerrosalat sekä kirjallisuuslähteisiin perustuvat sähkön ja lämmön ominaiskulutukset eri rakennusluokille. Vertailuskenaariossa (BAU) uudisrakennusten energiatehokkuus pysyy lähtövuoden rakentamismääräysten tasoisena koko tarkastelujakson ajan. PSK –skenaariossa energiatehokkuuden oletettiin kehittyvän Pääkaupunkiseudun ilmastostrategian tavoitteiden mukaisesti. EKO- ja EKO nopea –skenaarioissa rakennusten energiatehokkuus kasvaa lineaarisesti matalaenergiarakentamisen kautta nollaenergiarakentamiseen. EKO nopea –skenaariossa nollaenergiarakentaminen toteutuu aiemmin kuin EKO –skenaariossa. Kolmen edellä mainitun kehityspolun mukaan uudisrakennuskanta lisää T3 –alueen energiankysyntää (kaukolämpö ja sähkö) 58 GWh – 88 GWh vuonna 2030. Uudisrakennuskannan energian ominaiskulutus on eri skenaarioissa $100 \text{ kWh} / (\text{m}^2 \text{ a})$ – $133 \text{ kWh} / (\text{m}^2 \text{ a})$ vuonna 2020 ja $82 \text{ kWh} / (\text{m}^2 \text{ a})$ – $133 \text{ kWh} / (\text{m}^2 \text{ a})$ vuonna 2030.

T3 –alueen olemassa olevan rakennuskannan sähkön loppukäyttö oli 283 GWh vuonna 2012. Kappaleessa 7.1 tarkasteltiin T3 –alueen nykyistä sähkön loppukäyttöä toimitila- ja asuinrakennuksissa. Toimisto- ja opetusrakennusten osuus oli 70 prosenttia ja liikerakennusten noin 7 prosenttia sähkön loppukäytöstä. Aineistojen perusteella arvioitu keskimääräinen toimitilojen sähkön ominaiskulutus oli $195 \text{ kWh} / (\text{m}^2 \text{ a})$ vuonna 2012. T3 –alueen asuinrakennuksissa käytetyn sähkön osuus oli 10 prosenttia lop-

pukäytöstä. Toimisto- ja opetusrakennuksissa sähköntarve on suurimmillaan kesällä arkipäivisin, jolloin tilojen jäähdytykseen käytetty sähkö lisää kulutusta.

T3 –alueen kaukolämmön loppukäyttö oli 2,17 TWh vuonna 2012. Tästä 60 prosenttia kulutettiin asuinrakennuksissa, 19 prosenttia käytettiin toimisto- ja opetusrakennuksissa ja liikerakennusten osuus oli 6 prosenttia loppukäytöstä. Rakennusten kaukolämmönkysyntä on riippuvainen lähes yksinomaan ulkolämpötilasta ja näin ollen lämmöntarve on suurimmillaan talvikuukausina.

Luvun 8.1.1 skenaariotarkastelun mukaan uudisrakennuksissa paikallisesti tuotetulla aurinkoenergialla syrjäytetään kumulatiivisesti sähkön ja kaukolämmön loppukäyttöä 1,9 – 2,1 prosenttia (1,1 - 1,7 GWh) vuonna 2030. Luvussa 8.2 arvioitiin olemassa olevan rakennuskannan aurinkosähköpotentiaalin toteutumista tarkastelujaksolla 2013 - 2030. Aurinkosähkön tuotantoarvioiksi olemassa olevissa rakennuksissa saatiin 450 MWh vuonna 2020 ja 4,5 GWh vuonna 2030.

Luvussa 8.2 arvioitiin olemassa olevan rakennuskannan kaukolämmitteisten tilojen lämmitysenergiantarpeeksi 1,45 TWh – 1,59 TWh vuonna 2030 kahden tarkastellun energiatehokkuuskehityspolun (rakennusten ominaislämmönkulutus alenee 1 % tai 0,5 %) mukaan.

Rakennuskohtaisen jäteveden lämmöntalteenoton energiansäästöpotentiaalia T3 – alueella tarkasteltiin luvussa 8.4. T3 –alueen uudisrakennuksissa jäteveden lämmön hyödyntämisellä voitaisiin vähentää käyttöveden lämmitykseen tarvittavaa ostoenergiaa noin 32 % eli 5,8 GWh PSK –skenaariossa ja 5 GWh EKO –skenaarioissa vuonna 2030. Nykyisessä rakennuskannassa jäteveden lämmön avulla saavutettava käyttöveden lämmitykseen tarvittavan ostoenergian (kaukolämpö ja sähkö) vähennys olisi noin 18 prosenttia eli 78,5 GWh vuonna 2030.

Energiatehokkuuden kasvu (lämmön ominaiskulutus alenee 1 % vuodessa) sekä aurinkosähkö- ja jäteveden lämmönkäytön energiansäästöpotentiaalien toteutuminen T3 –alueen nykyisessä rakennuskannassa vähentäisi rakennusten ostoenergiantarvetta lähes 15 prosenttia vuonna 2030 alueen nykyiseen kulutukseen verrattuna.

Johtopäätelmät

T3 –alueen uudisrakennuskannan energiankulutuksen merkitys on varsin vähäinen verrattuna olemassa olevan rakennuskannan nykyiseen energiantarpeeseen vuoteen 2030 mennessä. Tiukentuvat rakentamisen energiatehokkuusmääräykset ja rakennusten nollaenergiavaatimus pitävät huolen siitä, että uudisrakennusten tilojen lämmitysenergiantarve alenee entisestään ja rakennuksissa paikallisesti tuotetun energian osuus tulee vähentämään ostoenergiaa tulevaisuudessa. Energiatehokkaiden ja runsaasti talotekniikkaa sisältävien uudisrakennusten suunnitellun energiatehokkuuden saavuttamisessa nousevat keskeisiksi tekijöiksi rakennuksen oikea käyttö ja ylläpito.

T3 –alueen energiankulutuksen kasvun hillitsemiseksi ja kulutuksen kääntämiseksi laskuun olisikin keskeistä edistää olemassa olevan rakennuskannan energiatehokkuutta ja löytää kustannustehokkaita ratkaisuja uusiutuvan energian paikalliseen tuotantoon jo olemassa olevissa rakennuksissa. Tähän tarkoitukseen Espoon kaupunki onkin julkaissut aurinko- ja geoenergiakartat ja niitä hyödyntävän energiatietopalvelun, joiden avulla Espoolaiset voivat arvioida kiinteistöjensä aurinkoenergian- ja maalämmöntuotantopotentiaaleja sekä tuotannon kustannuksia.

Ilmaston lämpenemisen arvioidaan olevan selvästi voimakkaampi alueella, jossa Suomi sijaitsee, kuin maapallolla keskimäärin. Suomessa etenkin talvilämpötilojen odotetaan kohoavan ja hellejaksojen yleistyvän ilmastonmuutoksen johdosta. Näiden johdosta etenkin energiatehokkaiden uudisrakennusten sisäisten lämpökuormien merkitys lämmönlähteinä korostunee tulevaisuudessa ja tilojen jäähdytysenergiantarve kasvaa.

Rakennusten tilojen lämmitystarpeen pienentyessä, nousee käyttöveden lämmitykseen käytetyn energian vähentäminen erääksi keskeisimmistä haasteista rakennusten energiatehokkuuden kasvattamisessa. Uusissa asuinkerrostaloissa lämpimän käyttöveden osuus on jo yli puolet rakennuksen lämmöntarpeesta. Lämpimän käyttöveden tarve on suhteellisen tasaista ympäri vuoden. Kiinteistökohtaisella aurinkolämmön tuotannolla voidaan kattaa jo huomattava osa energiatehokkaan asuinrakennuksen lämmöntarpeesta. T3 –alueen rakennukset ovat pääosin (87 % kerrosalasta) liitetty kaukolämpöverkkoon ja aurinkolämpötuotanto voi osoittautua kustannustehokkaaksi keinoksi vähentää ostolämpöä myös kaukolämmitykseen kytketyissä rakennuksissa tulevaisuudessa. Aurinkolämmöntuotanto kaukolämpöverkkoon liitetyissä rakennuksissa vähen-

tää kesän aikaista kaukolämmönkysyntää ja painottaa tuotantoa lämmityskaudelle varsinkin jos ylituotanto kesällä syötetään kaukolämpöverkkoon. Kiinteistökohtainen aurinkokaukolämpö ei kuitenkaan voi vähentää kaukolämmön huipputehontarvetta talvella ilman lämmön kausivarastointia. Eräänä jatkotutkimuksena voisikin olla hyödyllistä tarkastella aurinkolämmön kausivarastointimahdollisuuksia ja varastointipotentiaalia T3 –alueeseen sisältyvillä pienalueilla.

Espoon Suomenojan jätevedenpuhdistamon yhteyteen rakennettava lämpöpumppulaitos tulee ottamaan hukkalämpöä talteen puhdistetusta vedestä laajalta alueelta keskitysti. Talteenotetulla lämmöllä korvataan lämmöntuotantoa fossiilisilla polttoaineilla ja vähennetään näin ollen tuotannon päästöjä. Rakennusten ostolämmön vähentämisessä rakennuskohtainen harmaavesien lämmöntalteenotto ja -käyttö voi osoittautua toiseksi kustannustehokkaaksi keinoksi aurinkolämmön ohella etenkin uudisrakennuksissa. Käytännön simuloinnissa teknologialla on voitu tuottaa lähes puolet lämpimän käyttöveden valmistamiseen tarvittavasta energiasta lämpöpumpulla korkealla hyötysuhteella (COP 5,5). Teknologian hyödyntäminen vaatii rakennuksen sisäisen kaksisputkituksen, harmaavesisäiliön ja kuumavesivaraajan sekä tilan säiliöille. Tarvittavaan teknologiaan on helppo varautua uudisrakennuskohteissa ja putkisaneerauskohteissa, joissa tosin sopivan tilan löytäminen tarvittaville säiliöille on todennäköinen haaste. Haasteena teknologiassa on myös lämmönvaihtimiin muodostuva biokalvo, joka heikentää järjestelmän hyötysuhdetta. T3 –alueen nykyisestä kerrosalasta lähes puolet sisältyy 1949 – 1980 rakennettuihin rakennuksiin, joissa LVI –järjestelmät ovat todennäköisimmin jo teknisen käyttöikänsä loppupäässä ja näin ollen linjasaneeraustarpeessa olevia rakennuksia on alueella runsaasti. Tulevissa linjasaneerauskohteissa voisi olla perusteltua ottaa suunnitteluvaiheessa huomioon rakennuskohtainen jäteveden lämmöntalteenotto, jotta sen käyttöönotto olisi teknisesti mahdollista myöhemmin, mikäli se ei vielä nykyisin olisikaan teknistaloudellisesti perusteltua.

Työn skenaariotarkastelussa käytetyt oletukset uudisrakennusten aurinkoenergian tuotannon kehittymisestä ovat melko maltillisia. Aurinkoenergialla on merkittävä potentiaali T3 –alueella ja aurinkosähkötuotanto lisääntynee suuresti lähitulevaisuudessa aurinkokennojen hyötysuhteen kasvaessa ja hintojen laskiessa jatkuvasti. T3 –alue on hyvin toimitilavaltainen ja aurinkosähköllä vaikuttaisi olevan suuri potentiaali etenkin toimistorakennusten arkipäivän sähkökuormien leikkaamisessa. Tuntitasolla aurinkoenergian saatavuus ja toimiston sähkökuormat kohtaavat ajallisesti erittäin hyvin.

Toimistorakennuksen sähkökuorman huippu tapahtuu pääkaupunkiseudulla tavallisesti kesäkuukausien aikana rakennuksen jäähdytystarpeen kasvaessa. Luonnollisesti myös aurinkoenergiaa on tällöin parhaiten saatavissa ja näin ollen aurinkosähköllä vaikuttaisi olevan suuri potentiaali myös toimistorakennuksen jäähdytysenergianlähteenä. Toimitilojen ja asuinrakennusten sähkökäyttöprofiilit pysyvät nykyisellään myös tulevaisuudessa mutta rakennuksiin integroituvalla paikallisella uusiutuvaan energiaan perustuvalla tuotannolla ja erilaisilla energianhallintajärjestelmillä voitaneen merkittävästi vähentää rakennetun ympäristön ostoenergian tarvetta ja tuotannon kasvihuonekaasupäästöjä tulevaisuudessa.

Lähteet

- [1] Työ- ja elinkeinoministeriö, ”Suomen toinen kansallinen energiatehokkuuden toimintasuunnitelma NEEAP-2,” 2011. Saatavilla: http://www.tem.fi/files/30406/NEEAP_2.pdf. [Haettu 25 3 2014].
- [2] M. Airaksinen, J. Seppälä, P. Tuominen, P. K. Regina, P. Peltonen-Sainio, K. S. J. K. S. Luostarinen, Tuomaala, I. Savolainen ja M. Kopsakangas-Savolainen, ”Rakennetun ympäristön hajautetut energiajärjestelmät,” 2013. Saatavilla: http://www.ilmastopaneeli.fi/uploads/selvitykset_lausunnot/Rakennetun%20ymp%C3%A4ris%C3%B6n%20hajautetut%20energiaj%C3%A4rjestelm%C3%A4t.pdf. [Haettu 25 3 2014].
- [3] Ympäristöministeriö, ”Rakennusten energiatehokkuutta koskeva lainsäädäntö,” Saatavilla: http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakennuksen_energiatehokkuutta_koskeva_lainsaadanto. [Haettu 25 3 2014].
- [4] Motiva, ”Selvitys hajautetusta ja paikallisesta energiantuotannosta erilaisilla asuinalueilla,” 2010. Saatavilla: http://www.motiva.fi/files/7938/Selvitys_hajautetusta_ja_paikallisesta_energiantuotannosta_erilaisilla_asuinalueilla_Loppuraportti.pdf. [Haettu 25 3 2014].
- [5] Ympäristöministeriö, Sitra ja Tekes, ”ERA 17 Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017,” 2010. Saatavilla: http://www.tekes.fi/Julkaisut/era17_loppuraportti.pdf. [Haettu 25 3 2014].
- [6] Tilastokeskus, ”Tilasto: Asumisen energiankulutus,” Saatavilla: http://www.stat.fi/til/asen/2011/asen_2011_2012-11-16_tie_001_fi.html. [Haettu 26 6 2013].
- [7] Tilastokeskus, ”Suomen virallinen tilasto (SVT): Rakennukset ja kesämökit,” 2013. Saatavilla: <http://tilastokeskus.fi/til/rakke/index.html>. [Haettu 4 7 2013].
- [8] Adato Energia Oy, ”Kotitalouksien sähkönkäyttö 2011,” 2013. Saatavilla: http://www.tem.fi/files/35856/Kotitalouksien_sahkonkaytto_2011_raportti.pdf [Haettu 25 3 2014].
- [9] L. Pedersen, ”Load Modelling of Buildings in Mixed Energy Distribution Systems,” Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 2007. Saatavilla: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:122458/FULLTEXT01.pdf> [Haettu 25 3 2014].
- [10] J. Larinkari, ”Palvelusektorin sähkönkäytön tutkiminen tuntimittaustietojen avulla,” Aalto-yliopisto, Sähkötekniikan korkeakoulu, Espoo, 2012. Saatavilla: <http://lib.tkk.fi/Dipl/2012/urn100724.pdf> [Haettu 25 3 2014].
- [11] V. Rimali, ”Etäluettavan energianmittaustiedon hyödyntäminen alueellisissa kuormitusennusteissa,” 2011. Saatavilla: <http://lib.tkk.fi/Dipl/2011/urn100528.pdf> [Haettu 25 3 2014].
- [12] I. Vehviläinen, M. Halonen, A. Kumpulainen ja J. Vanhanen, ”Energiatehokkuustoimet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä,” Gaia Consulting Oy, Helsinki, 2008.
- [13] T. Krackeler, L. Schipper ja O. Sezgen, ”Carbon dioxide emissions in OECD service sectors: the critical role of electricity use,” *Energy Policy*, osa/vuosik. Volume 26, nro 15, pp. 1137-1152, 1998.
- [14] Motiva, ”<http://www.motiva.fi/taustatietoa/energiankaytto-suomessa/energiatehokkuusindikaattorit>,” 19 11

2012. Saatavilla: http://www.motiva.fi/files/3360/Katsaus_energian_ominaiskulutuksiin.pdf. [Haettu 24 6 2013].
- [15] I. Vehviläinen, A. Pesola, S. Jääskeläinen, H. Kalenoja, P. Lahti, K. Mäkelä ja M. Ristimäki, ”Rakennetun ympäristön energiankäyttö ja kasvihuonekaasupäästöt,” Sitra, Helsinki, 2010.
- [16] Energiateollisuus ry, ”Energiavuosi 2012, Sähkö,” Energiateollisuus ry, Helsinki, 2013.
- [17] Motiva Oy, ”Kiinteistön energiatehokkaat sähkötekniset ratkaisut,” 2012. Saatavilla: http://www.motiva.fi/files/7974/Kiinteiston_energiatehokkaat_sahkotekniset_ratkaisut.pdf. [Haettu 25 3 2014].
- [18] European Commission, ”Energy consumption in the services sector, Surveys of EU Member States,” European communities, Luxembourg, 2002.
- [19] Motiva, ”Palvelusektorin ominaiskulutuksia,” 18 3 2013. Saatavilla: http://www.motiva.fi/toimialueet/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/tilastotietoa_katselmuksista/palvelusektorin_ominaiskulutuksia. [Haettu 27 6 2013].
- [20] I. Wahlgren ja M. Halonen, ”Espoon maankäytön kehittämissuunnitelmien ilmastovaikutukset,” VTT, Espoo, 2008.
- [21] M. Airaksinen ja M. Vuolle, ”Heating Energy and Peak-Power Demand in a Standard and Low Energy Building,” *Energies*, osa/vuosik. 6, nro 1, pp. 235 - 250, 2013.
- [22] J. Steinfeld, A. Bruce ja M. Watt, ”Peak load characteristics of Sydney office buildings and policy recommendations for peak load reduction,” *Energy and Buildings*, osa/vuosik. 43, nro 9, pp. 2179-2187, 2011.
- [23] M. Haakana, *Ajankohtaista energia-asioista*, Helsinki: Ympäristöministeriö, 2013.
- [24] Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto, *Rakennusten energiatehokkuus, Määräykset ja ohjeet 2012*, 2011.
- [25] T. Lehtinen, *Regulaatio - energiatehokkuudesta liiketoimintaa seminaari*, 2012.
- [26] J. Kurnitski, *EU:n päästö- ja energiaohjauksen tiekartta nollaenergiarakentamiseen ERA17 – nZEB – D3 2012*, SITRA, 2011.
- [27] Ympäristöministeriö, Ympäristöministeriö, 27 2 2013. Saatavilla: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=142235&lan=fi>. [Haettu 16 5 2013].
- [28] Ympäristöministeriö, ”Energiatodistus,” Saatavilla: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=436885&lan=FI>. [Haettu 15 8 2013].
- [29] J. Kurnitski, *Nollaenergiarakentamisesta kehityksen veturi*, Helsinki: Sitra, 2012, p. 20.
- [30] M. Sepponen, J. Nieminen, P. Tuominen, I. Kouhia, J. Shemeikka, M. Viikari, K. Hemmilä ja V. Nykänen, ”Lähes nollaenergiatalon suunnitteluohjeet,” Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus, Lahti, 2013.
- [31] T. Lehtinen, ”Nollaenergiarakentaminen vaatii yhteistyötä ja asennetta,” 22 8 2013. Saatavilla:

- <http://www.rym.fi/attachements/2013-08-30T10-24-4342.pdf>. [Haettu 26 9 2013].
- [32] Motiva, ”Auringosta lämpöä ja sähköä,” 2012. Saatavilla:
http://www.motiva.fi/files/6137/Auringosta_lampoa_ja_sahkoa2012.pdf. [Haettu 25 3 2014].
- [33] European Technology Platform, Renewable Heating & Cooling, ”Strategic Research and Innovation Agenda for Renewable Heating & Cooling,” RHC-Platform, Brussels, 2013.
- [34] V. Lottner, M. Schulz ja E. Hahne, ”Solar-Assisted District Heating Plants: Status of the German Programme Solarthermie-2000,” *Solar Energy*, osa/vuosik. 69, nro 6, pp. 449-459, 2000.
- [35] Pöyry Management Consulting Oy, ”Aurinkolämmön liiketoimintamahdollisuuden kaukolämmön yhteydessä Suomessa,” Työ- ja elinkeinoministeriö, Energiategollisuus ry, Helsinki, 2013.
- [36] Suomen Tuulivoimayhdistys ry, ”Pientuulivoima,” Saatavilla:
<http://www.tuulivoimayhdistys.fi/pientuulivoima>. [Haettu 16 7 2013].
- [37] AWEA American Wind Energy Association, ”2010 U.S. Small Wind Turbine Market Report,” American Wind Energy Association, 2011.
- [38] S. Rinne ja S. Syri, ”Lämpöpumput ja kaukolämpö energijärjestelmässä,” Ilmastopaneeli, Espoo, 2013.
- [39] A. Vuorinen, Energian käyttäjän käsikirja, Espoo: Ekoenergo Oy, 2009.
- [40] N. Pardo, K. Vatopoulos, A. Krook-Riekkola, J. Moya ja A. Perez, ”Heat and cooling demand and market perspective,” Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2012.
- [41] Motiva, ”Mihin lämpöä tarvitaan?,” Saatavilla:
http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/mihin_lampoa_tarvitaan. [Haettu 30 1 2014].
- [42] C. Seybold ja M. F. Brunk, ”In-house waste water heat recovery,” *REHVA Journal*, 12 2013.
- [43] Solar District Heating, ”Solar District Heating in Europe, Training Concept: Large Heat Stores in Connection to Solar Thermal and CHP,” AGFW German Heat and Power Association & Solites, Steinbeis Research Institute for Solar and Sustainable Thermal Energy Systems.
- [44] Raili Alanen, ym. ”Energian varastoinnin nykytila,” VTT Prosessit, Espoo, 2003.
- [45] J. Xu ja R. Wang, ”A review of available technologies for seasonal thermal energy storage,” *Solar Energy* (2013), 2013.
- [46] V. Quaschnig, Understanding Renewable Energy Systems, London: Earthscan, 2005.
- [47] A. Fernandez, M. Martínez, M. Segarra ja L. C. I. Martorell, ”Selection of materials with potential in sensible thermal energy storage,” *Solar Energy Materials and Solar Cells*, osa/vuosik. 94, nro 10, pp. 1723-1729, 2010.
- [48] P. Pinel, C. A. Cruickshank, I. beausoleil-Morrison ja A. Wills, ”A review of available methods for seasonal storage of solar thermal energy in residential applications,” *Renewable and Sustainable Energy Review*, osa/vuosik. 15, nro 7, pp. 3341-3359, 2011.

- [49] O. Siddiqui ja A. Fung, "Utilization of thermal mass in the Toronto net zero energy house for thermal comfort and energy savings," 2009.
- [50] Solar District Heating, "Solar district heating guidelines," 2012. Saatavilla: http://www.solar-district-heating.eu/Portals/0/Factsheets/SDH-WP3-D31-D32_August2012.pdf.
- [51] PlanEnergi, "Solar Heating and Seasonal Heat Storage," Saatavilla: <http://www.planenergi.eu/solar-heating-and-seasonal-heat-storage.html>. [Haettu 22 8 2013].
- [52] B. Sibbitt, D. McClenahan, R. Djebbar, J. Thornton, B. Wong, J. Carriere ja J. Kokko, "The Performance of a High Solar Fraction Seasonal Storage District Heating System – Five Years of Operation," *Energy Procedia*, 2012.
- [53] Drake Landing Solar Community, "Borehole Thermal Energy Storage (BTES)," Saatavilla: <http://www.dlsc.ca/borehole.htm>. [Haettu 23 8 2013].
- [54] T. Schmidt ja H. Müller-Steinhagen, "The Central Solar Heating Plant with Aquifer Thermal Energy Store in Rostock - Results after four years of operation," 2004.
- [55] J. Pakanen, *Luentokalvot: Rak-130.3120 Energy storage systems in buildings, Energian varastointi*, 2013.
- [56] Q. Qi, S. Deng ja Y. Jiang, "A simulation study on a solar heat pump heating system with seasonal latent heat storage," *Solar Energy*, osa/vuosik. 82, nro 8, pp. 669-675, 2008.
- [57] Espoon kaupunki, "Espoon innovaatiopuutarha kukoistaa luovuutta, yrityksiä ja tutkimusta," Saatavilla: http://www.espoo.fi/fi-FI/Tyo_ja_yrittaminen/T3__Innovaatiopuutarha. [Haettu 17 1 2014].
- [58] R. Marila, "Espoon Kaupunki, Keilaniemen alue, Rakentumisen vaiheet," Arkkitehtitoimisto SARC, 2011.
- [59] RYM Oy, "Energizing Urban Ecosystems (EUE)," Saatavilla: <http://www.rym.fi/tutkimusohjelmat/energizingsociety/>. [Haettu 20 8 2013].
- [60] Länsimetro Oy, "Länsimetro," Saatavilla: <http://www.lansimetro.fi/fi/metrohanke>. [Haettu 13 9 2013].
- [61] Espoon kaupunki, "Keilaniemi selostusehdotus," Espoon kaupunki, 2011.
- [62] Hartela, "Keilaranta Tower," Saatavilla: http://www.hartela.fi/hartela_projects/toimitila_galleria.jsp?targetid=1037. [Haettu 20 8 2013].
- [63] Aalto-yliopisto, "Uudistuva kampus," Saatavilla: <https://into.aalto.fi/display/fiaalto/Uudistuva+kampus>. [Haettu 20 8 2013].
- [64] Espoon kaupunki, "Espoon eteläosien yleiskaava 2030, Liite 14," Espoon kaupunkisuunnittelukeskus, Espoo, 2008.
- [65] Espoo, "Asemakaavoitus," Saatavilla: http://www.espoo.fi/fi-FI/Asuminen_ja_ymparisto/Kaavoitus/Asemakaava. [Haettu 2 9 2013].

- [66] Espoon kaupunki, "Ilmastotavoitteet," Saatavilla: http://www.espoo.fi/fi-FI/Asuminen_ja_ymparisto/Ymparisto_ja_luonto/Energia_ja_ilmasto/Ilmastotavoitteet. [Haettu 20 1 2014].
- [67] Espoon kaupunki, "Aurinko- ja geoenergiakartat auttavat valitsemaan parhaan energiaratkaisun," Saatavilla: [http://www.espoo.fi/fi-FI/Asuminen_ja_ymparisto/Ymparisto_ja_luonto/Aurinko_ja_geoenergiakartat_auttavat_val\(27515\)](http://www.espoo.fi/fi-FI/Asuminen_ja_ymparisto/Ymparisto_ja_luonto/Aurinko_ja_geoenergiakartat_auttavat_val(27515))). [Haettu 31 1 2014].
- [68] M. Z. Degefa, "Electrical Load Disaggregation," Aalto-yliopisto, Sähkötekniikan korkeakoulu, Espoo, 2012.
- [69] H.-P. Hellman, "Photovoltaic power generation modeling," Aalto-yliopisto, Sähkötekniikan korkeakoulu, Espoo, 2011.
- [70] WSP Finland Oy, "Espoo uusiutuvan energian kuntakatselmus 2012," Espoon kaupunki, Espoo, 2012.
- [71] A. Pesola, E. Ryyänen, I. Vehviläinen ja J. Vanhanen, "Sipoon Talman osayleiskaavan ekotehokkuustarkastelu," Gaia Consulting Oy, 2013.
- [72] J. Vanhanen ja I. V. Aki Pesola, "Koukkurannan lämpöenergiaratkaisujen vertailu," Gaia, 2011.
- [73] J. Luhtala, "Kuluttajaryhmäkohtainen kaukolämpökuorman mallintaminen ja kulutusennusteet," Teknillinen korkeakoulu, Espoo, 2007.
- [74] J. Sorsanen, "Diplomityö; kirjoitushetkellä vielä julkaisematon," Aalto-yliopisto, Sähkötekniikan korkeakoulu, Espoo
- [75] Ilmastostrategian johtoryhmä, "Pääkaupunkiseudun ilmastostrategia 2030," YTV Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta, Helsinki, 2007.

LIITE 1 Sähkön ominaiskulutuksia eri rakennusluokissa (MOTIVA)

SÄHKÖ

Kohteet vuosilta 2005-2011, 910 kohdetta

Tyyppi	Kohteita kpl	Tilavuus 1000 m ³	Sähkö - ominaiskulutus (kWh/r-m ³)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
			Ennen energiakatselmusta																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
			Min	5 %	10 %	Alakv	Med	Yläkv	90 %	95 %	Max																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
TK 1994																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					

nd = ei dataa, energiakatselmuskohteita tässä rakennustyyppissä tarkastelukaudella kolme tai alle

LIITE 2 Lämmön ominaiskulutuksia eri rakennusluokissa (MOTIVA)

LÄMPÖ

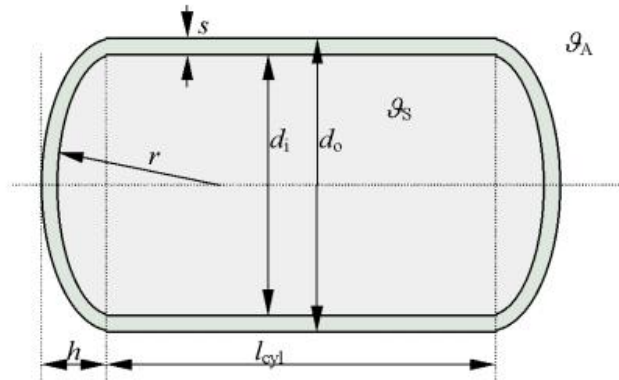
Kohteet vuosilta 2005-2011, 910 kohdetta

Tyyppi	Kohteita kpl	Tilavuus 1000 m ³	Lämpö - ominaiskulutus (kWh/r-m ³)									
			Ennen energiakatselmusta									
			Min	5 %	10 %	Alakv	Med	Yläkv	90 %	95 %	Max	
TK 1994												
11 Myymälä- ja tavaratalot, kauppakeskukset	58	3 101	3,8	6,9	9,3	12,8	19,0	32,3	43,8	49,6	248,6	
112 Liike- ja tavaratalot, kauppakeskukset	42	5 402	9,8	11,4	12,0	15,6	24,2	38,7	44,7	55,0	76,0	
12 Majoitusliiketoimintakeskukset	58	2 153	31,6	35,4	41,2	48,2	57,6	68,7	89,5	105,6	144,9	
13 Asuntolien rakennukset	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
14 Ravintolat yms.	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
15 Toimistorakennukset (kaikki)	136	6 141	6,4	13,4	15,7	23,4	32,2	43,3	55,0	63,7	92,3	
15 Toimistorakennukset, julkisen palvelusektori	34	529	8,8	21,6	25,6	33,8	45,6	55,2	64,2	82,3	92,3	
15 Toimistorakennukset, yksityinen palvelusektori	102	5 612	6,4	12,8	15,2	21,0	30,5	39,3	48,2	51,9	78,7	
16 Liikenteen rakennukset	7	239	5,4	14,6	23,8	38,5	50,3	62,2	76,3	81,5	86,8	
21 Terveystieteiden rakennukset (pois lukien Terveystieteiden ja -asemat)	25	2 140	43,0	49,5	50,9	57,2	72,0	89,3	148,4	158,8	285,6	
214 ja 219 Terveystieteiden ja -asemat	21	258	27,4	31,8	36,8	39,5	52,5	63,0	69,1	72,5	74,2	
22 Huoltolaitosrakennukset (pois lukien Vanhaakodit)	5	19	53,5	62,2	70,9	97,1	98,7	102,6	151,6	167,9	184,2	
221 Vanhaakodit	22	351	31,0	38,0	38,3	45,5	52,2	69,1	74,8	84,6	110,3	
23 Muut sosiaalitoimen rakennukset (pois lukien Päiväkodit)	16	86	42,3	46,4	49,5	56,6	69,8	80,2	98,9	115,3	125,8	
231 Päiväkodit	94	342	23,4	35,4	36,9	45,9	59,6	73,5	89,1	96,5	152,1	
31 Teatteri- ja konserttirakennukset	8	381	12,0	14,7	17,4	20,8	25,9	38,6	55,9	64,1	72,3	
32 Kirjasto- ja kerho- ja näyttelyhallirakennukset	15	345	23,8	23,9	25,1	28,7	32,7	38,1	41,2	41,8	43,1	
33 Seura- ja kerho- ja näyttelyhallirakennukset	9	60	26,7	30,3	34,0	36,7	47,9	62,2	66,6	70,3	74,0	
34 Uskonnonlaitosten yhteisöjen rakennukset	10	116	9,5	15,7	21,9	29,0	49,7	64,8	67,4	68,1	68,9	
35 Urheilu- ja kulttuurirakennukset (pois lukien Jää- ja uimahallit)	13	398	7,9	8,4	9,5	22,7	45,7	61,1	62,1	91,4	135,1	
351 Jäähallit	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
352 Uimahallit	7	195	60,0	69,3	78,7	97,4	104,5	140,1	144,8	145,7	146,7	
36 Muut kokoustilaisuuksien rakennukset	6	180	28,5	32,8	37,0	47,5	60,9	84,8	93,2	94,8	96,3	
51 Yleissivistävien oppilaitosten rakennukset	151	2 842	16,9	26,6	30,6	36,0	43,9	57,2	67,9	77,2	145,6	
52 Ammatillisten oppilaitosten rakennukset	30	1 316	20,4	21,9	25,1	34,5	37,4	49,5	55,6	57,1	127,2	
53 Korkeakoulu- ja tutkimuslaitosrakennukset	4	179	34,2	34,4	34,7	35,4	38,5	46,2	55,5	58,5	61,6	
54 Muut opetusrakennukset	6	114	41,0	42,1	43,3	47,1	53,2	58,6	65,7	68,4	71,2	
71 Varastorakennukset	19	2 216	5,4	6,2	6,8	12,6	24,0	42,9	51,8	60,1	61,3	
72 Palo- ja pelastustoimen rakennukset	12	181	19,8	24,7	29,0	35,9	48,9	58,2	72,9	80,3	88,6	
89 Muut maatalousrakennukset	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
93 Muut rakennukset	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	

nd = ei dataa, energiakatselmuskohteita tässä rakennustyyppissä tarkastelekaudella kolme tai alle

LIITE 3 Säiliölämpövaraston johtumislämpöhäviöiden laskeminen

Säiliölämpövaraston johtumislämpöhäviöt vaipan läpi ovat suoraan verrannolliset säiliön vaipan pinta-alaan sekä säiliön sisäpuolen $T_{varasto}$ ja ympäristön T_{ymp} väliseen lämpötilaeroon. Kuvassa (Kuva 93) esitetyn sylinterin muotoisen kaarevalla kannella ja pohjalla varustetun vesisäiliön johtumislämpöhäviöt $H_{säiliö}$ (W) sen vaipan läpi voidaan laskea kaavoilla 2 – 4. [46]



Kuva 93 Sylinterin muotoinen kaarevilla päädyillä varustettu säiliö [46]

$$H_{säiliö} = H_{sylinteri} + 2 \cdot H_{kansi} \quad (2)$$

$$H_{sylinteri} = k' \cdot l_{syl} \cdot (T_{varasto} - T_{ymp}) \quad (3)$$

$$H_{kansi} = k \cdot A_{kansi} \cdot (T_{varasto} - T_{ymp}) \quad (4)$$

Säiliön eri osien lämmönläpäisykertoimet k' (W/(mK)) ja k (W/(m²K)) kaavoissa 3 ja 4 lasketaan seuraavasti,

$$k' = \frac{\pi}{\frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_o}{d_i} + \frac{1}{\alpha d_o}} \quad (5)$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{s}{\lambda}} \quad (6)$$

joissa

α on eristeen ja ilman välinen lämmönsiirtokerroin (W/(m²K)), arvioidaan interpoloimalla lineaarisesti välillä 10 W/(m²K) kun $k' = 0,2$ W/(mK) ja 15,5 W/(m²K) kun $k' = 0,5$ W/(mK).

α_1 on lämmönsiirtokerroin säiliön pinnasta eristeeseen 300 W/(m²K)

α_2 on lämmönsiirtokerroin eristeen sisäpinnasta ulkoilmaan, riippuu säiliön seinän orientaatiosta seuraavasti:

varaston vaakatasoisten pintojen kerroin ylöspäin siirtyvälle lämmölle

$$\alpha_2 = 2,3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot \sqrt[4]{\frac{T_{\text{varasto}} - T_{\text{ymp}}}{^\circ\text{C}}}$$

vaakatasoisten pintojen kerroin alaspäin siirtyvälle lämmölle

$$\alpha_2 = 1,7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot \sqrt[4]{\frac{T_{\text{varasto}} - T_{\text{ymp}}}{^\circ\text{C}}}$$

pystysuuntaisten pintojen kerroin sivujen kautta siirtyvälle lämmölle

$$\alpha_2 = 2,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot \sqrt[4]{\frac{T_{\text{varasto}} - T_{\text{ymp}}}{^\circ\text{C}}}$$

do on sylinterin ulkohalkaisija (m)
di on sylinterin sisähalkaisija (m)
s on eristevahvuus (m)
 λ on eristeen lämmönjohtavuus W/(mK)

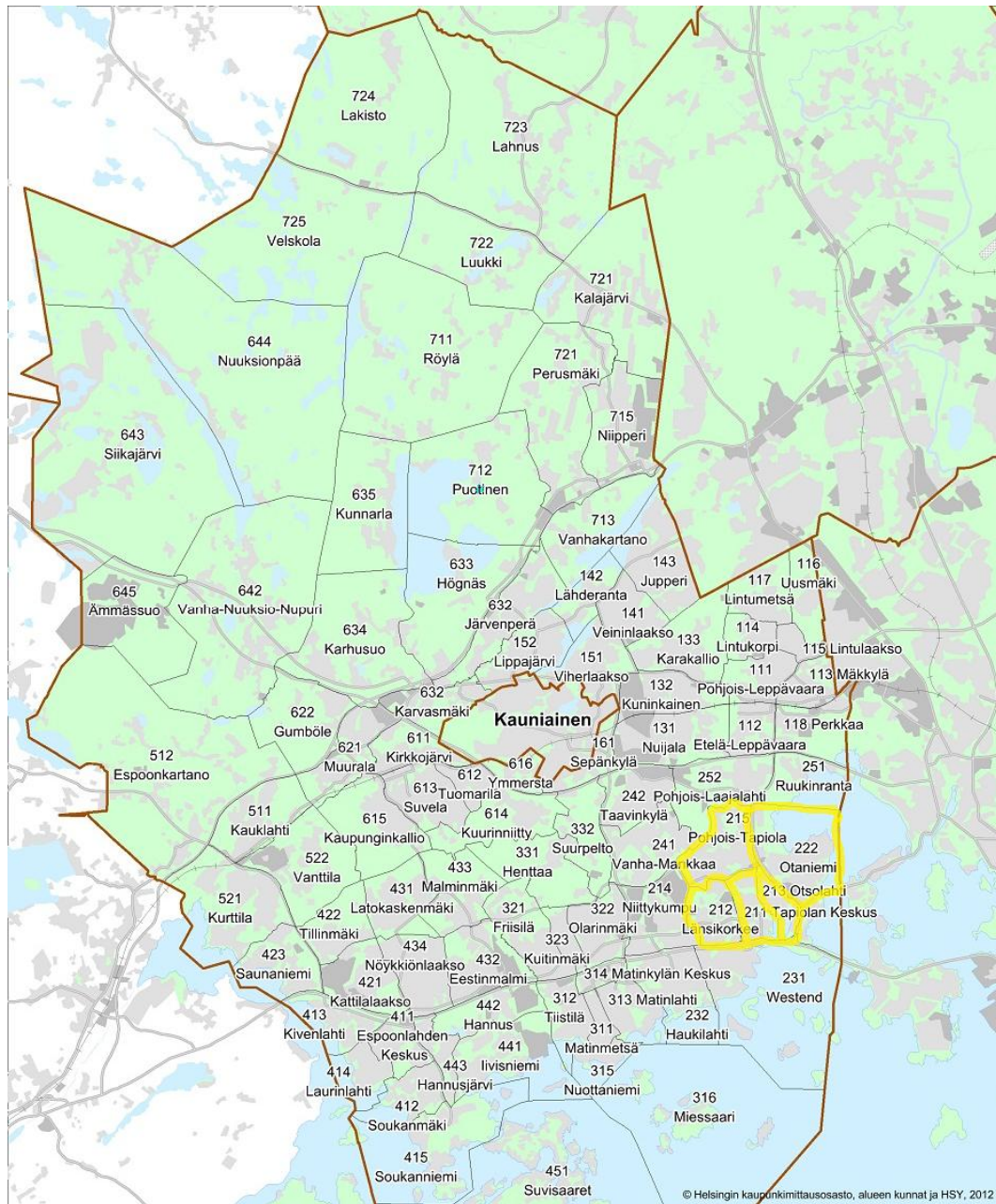
Mikäli lämpöä ei tuoda varastoon eikä oteta varastosta, sen lämpötila T_{varasto} laskee ajan t kuluessa kaavan 7 mukaisesti. Lämpötilan laskiessa myös varaston lämpöhäviöt $H_{\text{säiliö}}$ pienenevät. [46]

$$T_{\text{varasto}}(t) = \exp\left(-\frac{k \cdot l_{\text{syl}} + 2k \cdot A_{\text{kansi}}}{c \cdot m} \cdot t\right) \cdot (T_{\text{varasto}_0} - T_{\text{ymp}}) + T_{\text{ymp}} \quad (7)$$

Kuumavesivaraston aikavakioksi τ muodostuu kaavan 8 mukaisesti varastoidun veden ominaislämmön ja varaston lämpöhäviöiden osamäärä. Lämpövaraston aikavakion suuruus määrää ajan, jonka kuluessa varaston lämpötila on laskenut 36,8 prosenttiin alkuperäisestä. [46]

$$\tau = \frac{c \cdot m}{k \cdot l_{\text{syl}} + 2k \cdot A_{\text{kansi}}} \quad (8)$$

LIITE 4 Espoon pienalueet ja rakennuskanta-aineiston aluerajaus (keltainen rajaus)



LIITE 5 Espoon alueiden 211, 212, 213 JA 222 rakennusten kerrosalat polttoaineen mukaan

Polttoaine	lkm	Asunnot lkm	Kerrosala [m ²]	Osuus kok. kerrosalasta	Tilavuus [m ³]	[m ³ / m ²] ka	Rajaukset
Ei tiedossa	180	1065	107684	5.5 %	391589	3.5	Alueiden 211, 212, 213 ja 222 rakennukset yhteensä (polttoaine, kerrosala ja tilavuus tiedossa, poislukien uunilämmitetyt ja ilman kiinteää lämmityslaitetta olevat rakennukset (93 kpl), voimalaitosrakennukset (2 kpl) ja kivihiihtilämmitteiset. Ilman rajauksia
Kauko- tai aluelämpö	478	6944	1707729	87.3 %	8472525	4.1	
Kevyt polttoöljy	28	247	99957	5.1 %	469811	5.8	
Sähkö yhteensä	74	62	37057	1.9 %	163341	3.4	
suora	71	59	28917	1.5 %	121057	3.3	
vesikeskus (sis. suuren väestönsuojan)	3	3	7768	0.4 %	41020	4.3	2009361 m ² ja kokonaistilavuudeksi 9772573 m ³ .
Maalämpö tms.	2	53	4271	0.2 %	18325	5.0	
Yhteensä (datasta suod.)	759	8370	1956698	100 %	9515591	3.9	
	762	8371	1956698		9515591		

Yhteensä(taul. lask.)

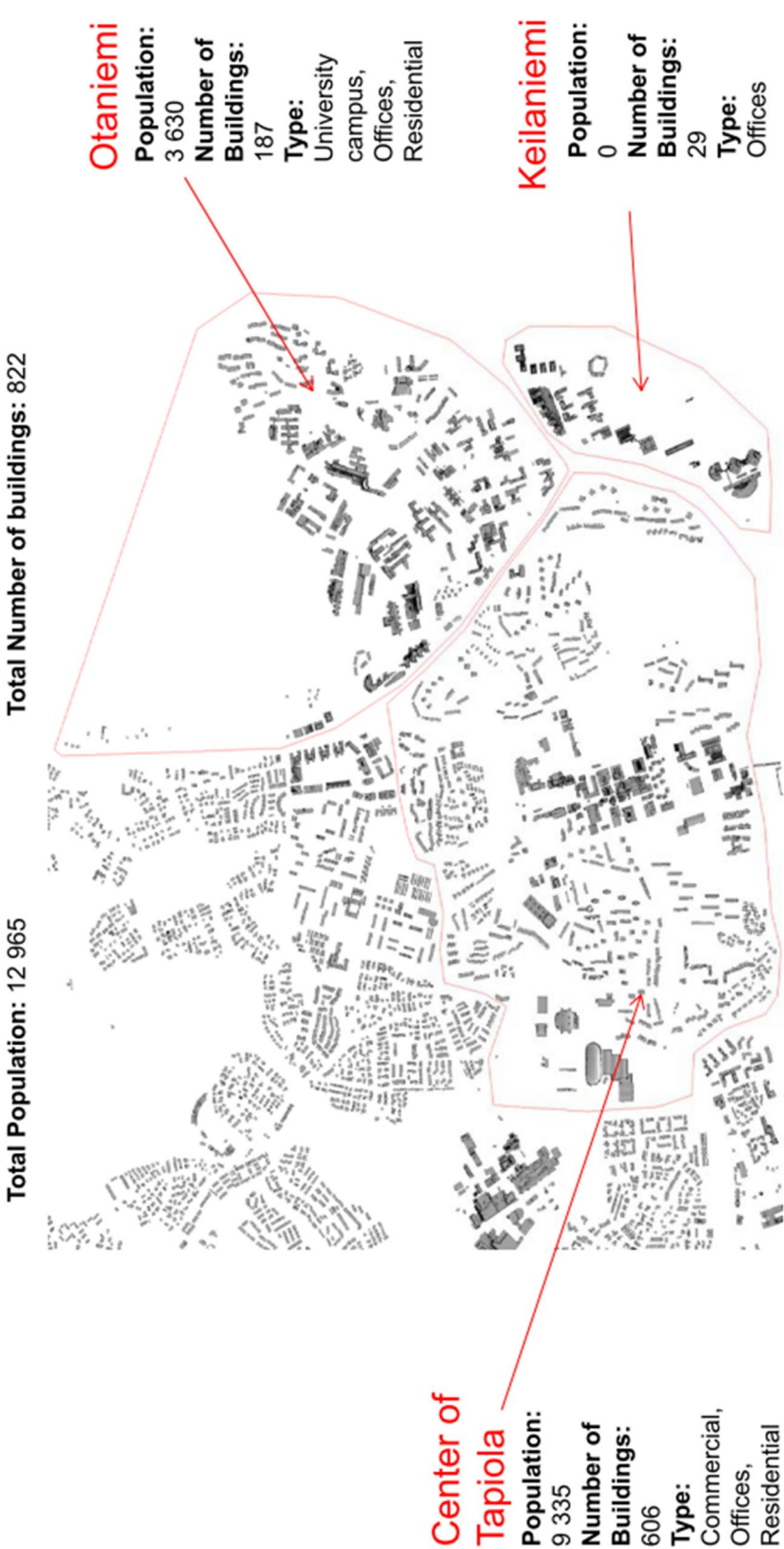
LIITE 6 Espoon alueiden 211, 212, 213 JA 222 toimitilarakennusten kerrosalat polttoaineen mukaan

TOIMITILAT	Polttoaine	Asunnot lkm	Kerrosala [m ²]	Osuus rak. luokan. kerrosalasta	Osuus toimitiloista	Osuus kok. kerrosalasta	Tilavuus [m ³]	Tilavuus [m ³ / m ²] ka	Sisällytetyt rakennusluokat (Rakennusluokitus 1994)
Toimistorakennukset	Ei tiedossa	1	811	0.1 %		0.0 %	2622	3.2	
	Kauko- tai aluelämpö	61	527153	93.8 %		26.9 %	3180796	5.8	
	Kevyt polttoöljy	3	34043	6.1 %		1.7 %	147938	3.4	151-Toimistorakennukset
	Yhteensä	64	562007	100.0 %	51 %	28.7 %	3328734	5.7	
Opetusrakennukset	Ei tiedossa	5	9805	2.2 %		0.5 %	46315	4.6	
	Kauko- tai aluelämpö	48	414090	93.3 %		21.2 %	1951534	4.3	
	Kevyt polttoöljy	2	19651	4.4 %		1.0 %	87590	4.7	531-Korkeakoulurakennukset, 532-Tutkimuslaitosrakennukset, 511-Peruskoulut, lukiot ja muut, 521-Ammatilliset oppilaitokset
	Sähkö	2	180	0.0 %		0.0 %	778	4.5	
	Yhteensä	56	443726	100.0 %	40 %	22.7 %	2086217	4.6	
Liikerakennukset	Kauko- tai aluelämpö	25	75082	74.1 %		3.8 %	394101	4.6	129-Muut majoitusliikerakennukset, 131-Asuntolat, vanhusten palvelut, 119-Myyntilätkä, 11-Myyntilätkä, 112-Liike- ja tavaratalot, kauppa- ja palvelusliiketoimintatilat, 141-Ravintolat, ruokailu- ja baarit, 121-Hotellit, motellit, matkustajak.
	Kevyt polttoöljy	5	21933	21.7 %		1.1 %	123554	5.6	
	Sähkö	5	285	0.3 %		0.0 %	836	2.8	
	Maalämpö tms.	1	4000	3.9 %		0.2 %	16745	4.2	
	Yhteensä	31	101300	100.0 %	9 %	5.2 %	481648	4.6	
Yhteensä		151	448	1107033		56.6 %	5896599		

LIITE 7 Espoo alueiden 211, 212, 213 JA 222 asuinrakennusten kerrosalat polttoaineen mukaan

ASUINRAKENNUKSET	Polttoaine	Asunnot lkm	Kerrosala [m ²]	Osuus rak. luokan. kerrosalasta	Osuus asuinrakennuksista	Osuus kok. kerrosalasta	Tilavuus [m ³]	[m ³ / m ²] ka
Yhden asunnon talot	Ei tiedossa	90	16539	52 %		1 %	57477	3.5
	Kauko- tai aluelämpö	39	7102	23 %		0 %	24114	3.5
	Kevyt polttoöljy	4	609	2 %		0 %	2443	4.1
	Sähkö	37	6991	22 %		0 %	23398	3.4
	Maalämpö tms.	1	271	1 %		0 %	1580	5.8
	Yhteensä	171	31512	100 %	5 %	2 %	109012	3.5
Kahden asunnon talot	Ei tiedossa	3	1296	14 %		0 %	5624	4.7
	Kauko- tai aluelämpö	18	5691	63 %		0 %	19190	3.3
	Kevyt polttoöljy	2	629	7 %		0 %	2785	4.2
	Sähkö	5	1463	16 %		0 %	4548	3.1
	Yhteensä	28	9079	100 %	1 %	0.5 %	32147	3.5
Rivi- ja ketjutalot	Ei tiedossa	32	19733	23 %		1 %	72394	3.7
	Kauko- tai aluelämpö	65	61022	72 %		3 %	195515	3.4
	Kevyt polttoöljy	3	2340	3 %		0 %	8230	3.2
	Sähkö	3	1921	2 %		0 %	6500	3.4
	Yhteensä	103	85016	100 %	14 %	4 %	282639	3.5
Kerros- ja luhtitalot	Ei tiedossa	7	45018	9.2 %		2 %	147231	3.4
	Kauko- tai aluelämpö	173	426162	87.5 %		22 %	1472411	3.4
	Kevyt polttoöljy	18	15885	3.3 %		1 %	55416	3.5
	Yhteensä	198	487065	100 %	79 %	25 %	1675058	3.4
Yhteensä		500	7909	612672		31 %	2098856	

Definition for T3 district area



LIITE 9 T3 –alueen toimitilarakennusten sähköenergiat 2012 (FORTUM)

TOIMITILAT	Tariffi	lkm	Vuosienergia [MWh]	Yöenergian osuus [MWh]	Päiväener- gian osuus [MWh]	Osuus toimitilojen kulutuksesta	Osuus T3 - alueen kulutuksesta	Sähkötöimittaisaineistossa esitetty kuormituskäyrän nimi
Toimistorakennukset	I	45	802					Yleis- ja muu hallinto, Sairaalat ja terveydenhoito
	II	35	73212	(53609?)	19603			
yhteensä		80	74014			34 %	26 %	
Opetusrakennukset	I	1	3					Opetus- ja koulutus, suuret oppilaitokset, Opetus- ja koulustustoimi
	II	3	2335	(1674?)	661			
yhteensä		4	2338			1 %	0.8 %	
Liikarakennukset	I	456	25261					Automyynti ja huoltamotoinninta, Muu vähittäiskauppa, Ravintola- ja kahvilatoiminta, Tavaratalot ja marketit, Virkistys- ja kulttuuripalvelutoiminta
	II	162	114330	(82811?)	31519			
yhteensä		618	139591			65 %	49 %	
Yhteensä		702	215943	138094	51782		76 %	

LIITE 10 T3 –alueen asuinrakennusten sähköenergiat 2012 (FORTUM)

ASUINRAKENNUKSET	Tariffi	lkm	Vuosienergia [MWh]	Yöenergia / vuosi [MWh]	Päiväenergia /vuosi [MWh]	Osuus as. rak kulutuksesta	Osuus T3 - alueen kulutuksesta	Sähkötönnäaineistossa esitetty kuorituskäyrän nimi
Omakotitalo ja paritalot								
	I	43	612					Omakotitalo, sähkölämmitys,
	II	150	1158	675	484			käyttövesiva, Omakotitalo, ei
	I	152	1611					sähkölämmitys, sähkökuia,
	II	2	92	55	37			Omakotitalo, ei sähkölämmitys, ei
		347	3473	729	520	12 %	1 %	sähkök
Yhteensä								Rivi- ja kerrostalot, huonekohtainen
								säh
Kerrostalot								
	I	69	3989					Kerrostalo, asunnot mukana,
	II	69	7916	(5455??)	2460			Kerrostalokiinteistö, ei asuntojen
								osuut
Yhteensä		138	11904	5455	2460	43 %	4 %	
Rivi- ja kerrostaloasunnot								
	I	6121	12524					Rivi- ja kerrostaloasunnot, ei
	II	5	12	6	5			sähkölämm
		6126	12536	6	5	45 %	4 %	
Yhteensä								
Yhteensä			27913	6191	2986		10 %	

LIITE 11 T3 –alueen muiden kuin asuin- ja toimitilarakennusten sähköenergiat 2012 (FORTUM)

MUUT RAKENNUKSET	Tariffi	lkm	Vuosienergia [MWh]	Yöenergia / vuosi [MWh]	Päiväenergia /vuosi [MWh]	Osuus T3 - alueen kulutuksesta	Sähkötönnäsaaneistossa esitetty kuormituskäyrän nimi
	I	39	585				1-vuoroteollisuus, metalli,n
	II	69	38007	(28214??)	9793		2-vuoroteollisuus, metalli, 3-vuoroteollisuus yleensä, Tievalaistus, Yhdyskuntahuolto, vesihuolto, Linkkimastot, tasainen kuormitus, Maatalous, maito- ja karjatalous, asumin, Vapaa-ajan asunto
Yhteensä			38591	28214	9793	14 %	

LIITE 12 T3 –alueen sähköenergiat yhteensä 2012

KAIKKI RAKENNUKSET	lkm	Vuosienergia [MWh]	Yöenergia [MWh]	Yöenergian osuus vuosienergiasta	Osuus T3 - alueen kulutuksesta
Toimitilat	702	215943	(138094?)	64 %	76 %
Asuinrakennukset	485	27913	6191	22 %	10 %
Muut rakennukset / muu kulutus	108	38591	(28214?)	73 %	14 %
Yhteensä	1295	282447	172499	61 %	

LIITE 13 T3 –alueen toimitilarakennusten kaukolämpöenergiat 2012 (FORTUM)

OTANIEMI TOIMITILAT	Vuosienergia [MWh]	Kuukausienergiat [MWh]												Osuus toimitilojen kulutuksesta	Osuus T3_alueen kulutuksesta	Kaukolämpöaineiston luokitus
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
Toimistorakennukset	46880	6631	8492	5860	3992	1827	1102	515	803	1499	3501	4620	8037	29 %	2 %	muut tstorakennukset, Toimisto yms julkinen rakennus
Opetusrakennukset	91303	13035	16233	11460	7966	3760	2280	1008	1570	2965	6760	9424	14842	57 %	4 %	Ammatillisten oppilaitosten rakennukset, Korkeakoulurakennukset, Tutkimuslaitosrakennukset, Yleissivistävien oppilaitosten rakennukset
Liikerakennukset	22708	3360	4142	3115	1954	730	452	265	356	562	1422	2233	4116	14 %	1 %	Asuntolat, Hotellit, Liike- ja tav.talot, kauppakeskukset, Myymälähallit, Myymälä rakennukset, Ravintolat
Yhteensä	160891	23026	28867	20435	13912	6317	3834	1789	2729	5025	11684	16276	26995		7 %	
KEILANIEMI TOIMITILAT	Vuosienergia [MWh]	Kuukausienergiat [MWh]												Osuus luokan KI- energiasta	Osuus T3_alueen KI- energiasta	Kaukolämpöaineiston luokitus
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
Toimistorakennukset	35473	4858	6765	4495	3104	1656	951	379	638	1217	2609	3710	5090	97 %	2 %	muut tstorakennukset, Toimisto yms julkinen rakennus
Opetusrakennukset	720	107	68	64	64	31	17	8	13	17	40	86	206	2 %	0 %	Yleissivistävien oppilaitosten rakennukset
Liikerakennukset	288	27	29	30	31	22	16	9	12	15	25	31	42	1 %	0 %	Liike- ja tav.talot, kauppakeskukset, Muut liik. Rakennukset
Yhteensä	36480	4991	6862	4588	3200	1709	984	396	663	1249	2674	3826	5338		2 %	

TAPIOLA TOIMITILAT	Vuosienenergia [MWh]	Kuukausienergiat [MWh]												Osuus T3_alueen KL	Osuus luokan KL- energiasta	Kaukolämpöaineiston luokitus
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
Toimistorakennukset	137558	19268	25213	17512	12107	5425	3541	1426	2464	4325	10185	14136	21955	42 %	6 %	muut tstorakennukset, Toimisto yms julkinen rakennus
Opetusrakennukset	96346	12954	16000	11979	8333	4340	2774	1381	2249	3707	7674	10207	14747	29 %	4 %	Yleissivistävien oppilaitosten rakennukset, Järj., liittojen, työnt. yms. Opetusrak
Liikerakennukset	96922	14121	18221	12551	8260	3637	2217	1156	1691	2709	6739	9564	16055	29 %	4 %	Liike- ja tav.talot, kauppakeskukset, Muut liik. Rakennukset
Yhteensä	330826	46343	59434	42042	28701	13402	8532	3963	6405	10741	24598	33907	52758	15 %		

TOIMITILAT YHT.	Vuosienenergia [MWh]	Kuukausienergiat [MWh]												Osuus luokan KL-energiasta	Osuus T3_alueen KL energiasta
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Toimistorakennukset	219911	30757	40471	27867	19203	8908	5594	2320	3905	7041	16295	22466	35083	42 %	10 %
Opetusrakennukset	188369	26096	32301	23503	16364	8132	5071	2397	3832	6688	14474	19717	29795	36 %	9 %
Liikerakennukset	119918	17508	22392	15696	10246	4389	2685	1431	2059	3286	8186	11827	20213	23 %	6 %
Yhteensä	528197	74361	95164	67066	45813	21429	13350	6148	9797	17016	38955	54010	85090	24 %	

LIITE 14 T3 –alueen asuinrakennusten kaukolämpöenergiat 2012 (FORTUM)

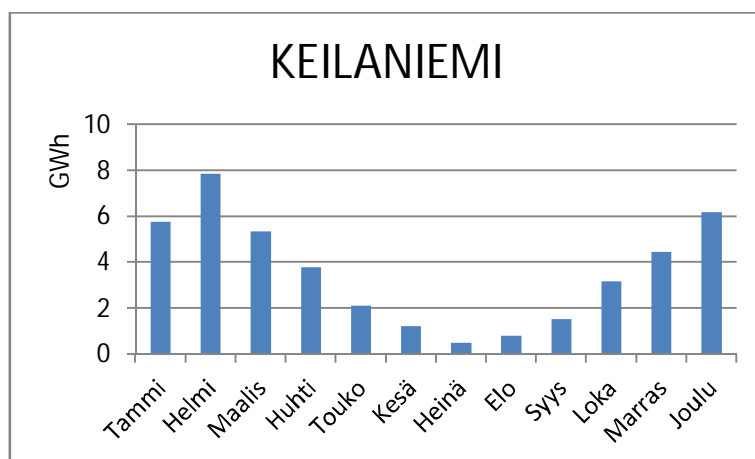
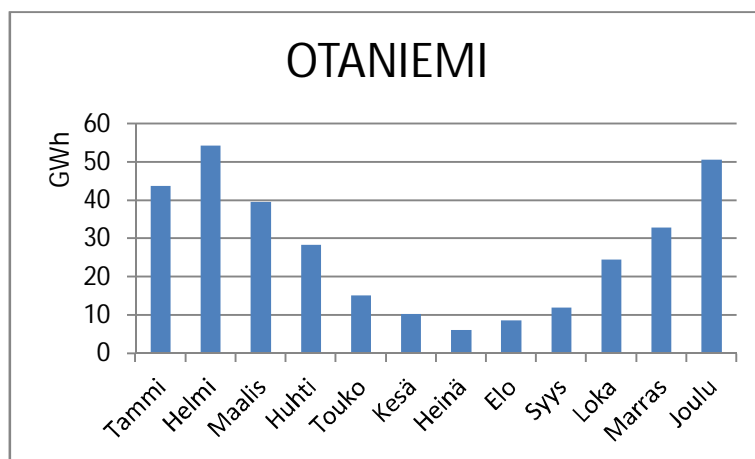
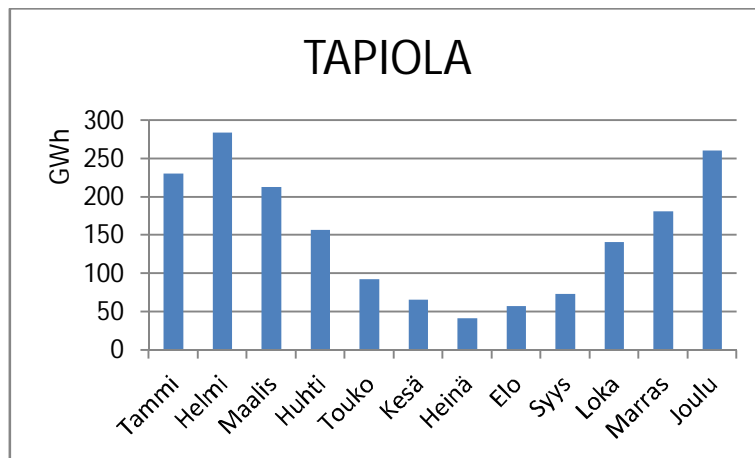
OTANIEMI	Vuosienergia [MWh]	Kuukausienergiat [MWh]												Osuus T3-alueen KL energiasta	Kaukolämpöaineiston luokitus	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
ASUINRAKENNUKSET																
Yhden asunnon talot	6084	751	951	691	521	309	232	154	209	255	482	611	919	5 %	0 %	Okt-ryhmä, Omakoti- tai paritalo, Muut er. Pientalot
Kahden asunnon talot	4453	521	628	455	384	258	187	128	172	201	367	477	676	3 %	0 %	2-as. talot (paritalo), Paritaloryhmä
Rivi- ja ketjutalot	6143	705	878	683	538	371	288	205	275	283	516	593	809	5 %	0 %	Ketjutalot, Rivitalo
Kerros- ja luhtitalot	115901	14154	17287	13255	10020	6429	4811	3466	4458	5127	9186	11477	16230	87 %	5 %	Kerrostalo, Muut kerrostalot (liikehuon)
Yhteensä	132581	16130	19744	15084	11463	7367	5519	3953	5115	5866	10551	13157	18633		6 %	
KEILANIEMI																
ASUINRAKENNUKSET																
Yhden asunnon talot	325	25	62	37	26	16	13	9	12	15	27	33	50	5 %	0 %	Omakoti- tai paritalo
Kahden asunnon talot	308	38	44	36	26	18	13	10	14	15	25	29	41	4 %	0 %	2-as. talot (paritalo)
Rivi- ja ketjutalot	1436	132	200	197	149	107	72	38	44	63	109	134	192	20 %	0 %	Rivitalo
Kerros- ja luhtitalot	5107	203	243	190	181	111	47	25	26	63	109	130	191	71 %	0 %	Kerrostalo
Yhteensä	7176	398	549	459	382	251	144	83	95	156	270	326	474		0 %	

TAPIOLA	Vuosienergia [MWh]	Kuukausienergiat [MWh]												Osuus luokan KI- energiasta	Osuus T3_alueen KL energiasta	Kaukolämpöaineiston luokitus
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
ASUINRAKENNUKSET																
Yhden asunnon talot	86103	10785	13446	10004	7451	4531	3365	2102	2914	3547	6873	8660	12426	7 %	4 %	Okt-ryhmä, Omakoti- tai paritalo, Muut er. Pientalot
Kahden asunnon talot	91782	11112	13462	10477	8099	5277	3981	2704	3651	4046	7530	9079	12366	8 %	4 %	2-as. talot (paritalo), Paritaloryhmä
Rivi- ja ketjutalot	278900	33437	40447	31562	24409	16394	12243	8185	11131	12607	22934	27861	37690	24 %	13 %	Ketjutalot, Rivitalo
Kerros- ja luhtitalot	703085	86953	105149	80605	61896	39463	28277	19244	25539	31189	56425	70234	98112	61 %	32 %	Kerrostalo, Luhtitalot, Muut kerrostalot (liikehuon)
Yhteensä	1159871	142287	172503	132648	101854	65664	47866	32235	43236	51388	93761	115833	160594		54 %	
ASUINRAKENNUKSET YHT.																
Yhden asunnon talot	92512	11561	14460	10731	7998	4855	3610	2265	3135	3816	7382	9304	13395	7 %	4 %	
Kahden asunnon talot	96544	11670	14134	10968	8509	5552	4181	2842	3837	4262	7922	9585	13082	7 %	4 %	
Rivi- ja ketjutalot	286479	34274	41524	32442	25096	16872	12603	8428	11450	12953	23558	28587	38691	22 %	13 %	
Kerros- ja luhtitalot	820505	101310	122678	94050	72096	46003	33135	22736	30024	36379	65720	81840	114534	63 %	38 %	
Yhteensä	1296040	158815	192796	148191	113699	73283	53529	36271	48446	57410	104582	129316	179702		60 %	

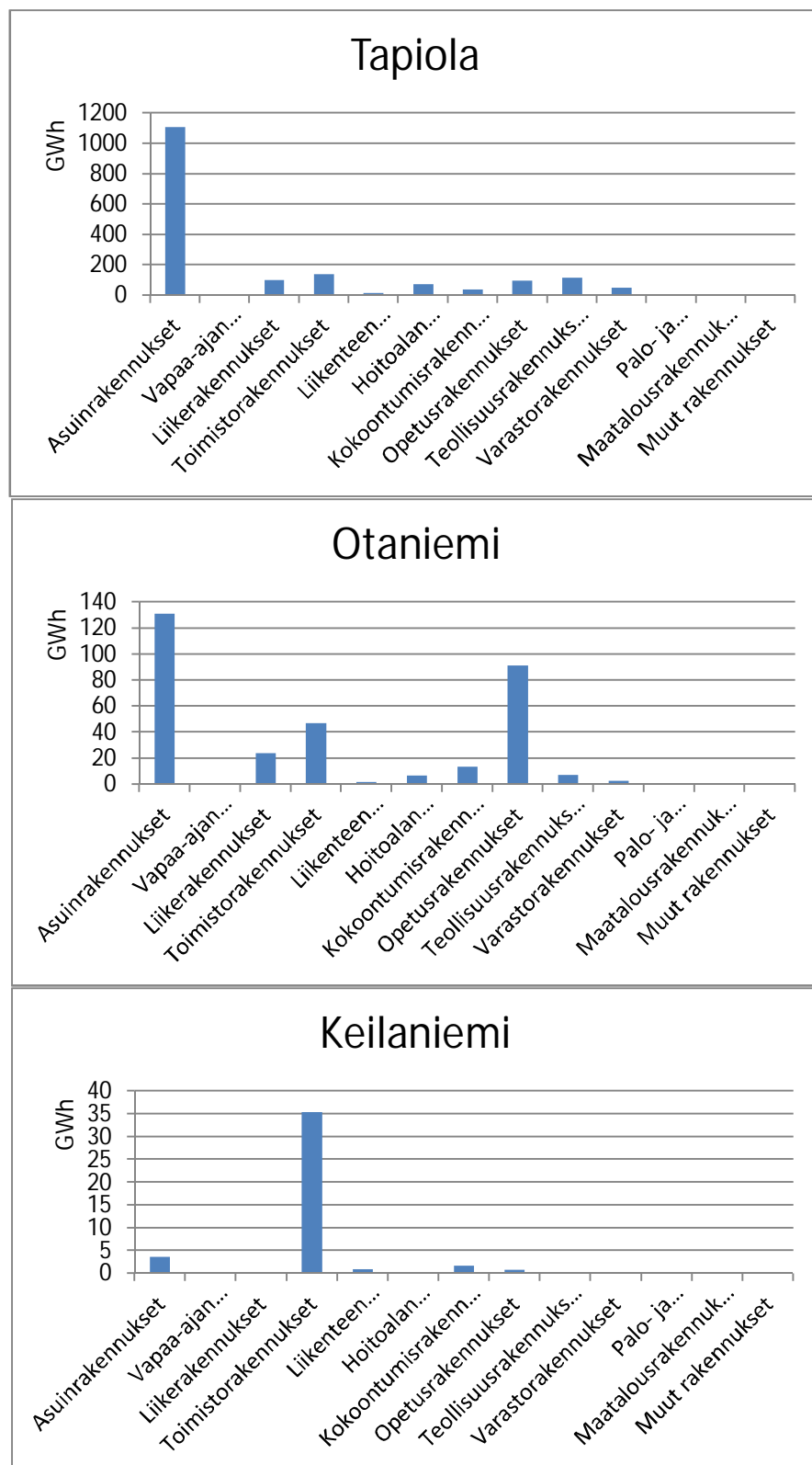
LIITE 15 T3 –alueen muiden kuin toimitilojen ja asuinrakennusten kaukolämpöenergiat 2012 (FORTUM)

MUU KULUTUS YHT.	Vuosienenergia [MWh]	Kuukausienergiat [MWh]												Osuus T3-alueen KL energiasta
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Otaniemi	33091	4637	5725	4079	3006	1460	1020	474	769	1105	2379	3451	5064	10 %
Keilaniemi	2808	386	455	311	208	143	86	30	59	115	252	332	431	1 %
Tapiolan keskus	307723	42207	52098	38416	26804	13475	9040	5050	7703	11103	22941	31340	47626	90 %
Yhteensä	343622	47229	58278	42805	30018	15079	10146	5554	8531	12323	25572	35123	53121	16 %

LIITE 16 T3 –alueen kaukolämpöenergiat 2012



LIITE 17 T3 –alueen kaukolämpöenergiat rakennusluokittain (FORTUM)



LIITE 18 Sähkö- ja rakennuskanta-aineistojen määritetty vuoden 2012 sähkön ominaiskulutus T3 –alueen toimitilarakennuksissa

Toimitilat	Vuosienergia [MWh]	Vuosienergian sisältämät		Kerrosala [m ²]	Kerrosalaan sisällytetyt rakennuskanta-aineiston luokat (Rakennusluokitus 1994)	[kWh/(m ² a)]	[kWh/(m ³ a)]	Huomiot
		sähköaineiston luokat (kuormituskäyrien nimet)						
Toimisto- ja opetusrakennukset	149853	Yleis- ja muu hallinto, Sairaalat ja terveydenhoito, Opetus- ja koulutus, suuret oppilaitokset, Opetus- ja koulutustoimi + Keilaniemen osalta lisäksi luokka Tavaratalot ja marketit + Otaniemen osalta lisäksi luokat: Tavaratalot ja marketit, Muu vähittäiskauppa		1005733	Toimistorakennukset, Korkeakoulurakennukset, Tutkimuslaitosrakennukset, Peruskoulut, lukiot ja muut, Ammatilliset oppilaitokset	149	28	
Liikerakennukset	66091	Automyynti ja huoltamotointi, Muu vähittäiskauppa, Ravintola- ja kahvilatoiminta, Tavaratalot ja marketit, Virkistys- ja kulttuuripalvelutoiminta, poislukien Otaniemen alueelle sijoittuvat luokat Tavaratalot ja marketit, Muu vähittäiskauppa sekä Keilaniemen alueen osalta poislukien Tavaratalot ja marketit luokka		101300	Muut majoitusliikerakennukset, Asuntolat, vanhusten palvelut, Myymälärakennukset, Myymälähallit, Liike- ja tavaratalot, kauppa- Ravintolat, ruokalat ja baarit, Hotellit, motellit, matkustajat.	652	142	

LIITE 19 Sähkö- ja rakennuskanta-aineistojen määritetty vuoden 2012 sähkön ominaiskulutus T3 –alueen asuinrakennuksissa

Asuinrakennukset	Vuosienergia [MWh]	Vuosienergian sisällytetyt sähköaineiston luokat (kuormituskäyrien nimet)	Kerrosala [m ²]	Kerrosalaan sisällytetyt rakennuskanta-aineiston luokat (Rakennusluokitus 1994)	[kWh/(m ² a)]	[kWh/(m ³ a)]	Huomiot
Ok- ja paritalot	3473	Omakotitalo, sähkölämmitys, käyttövesiva, Omakotitalo, ei sähkölämmitys, sähkökuia, Omakotitalo, ei sähkölämmitys, ei sähkö, Rivi- ja kerrostalot, huonekohtainen sähkö Kerrostalo, asunnot mukana, Kerrostalokiinteistö, ei asuntojen osuut, Rivi- ja kerrostaloasunnot, ei sähkölämm	40501	Yhden asunnon talot, Kahden asunnon talot	86	25	
Kerros-, luhti-, rivi- ja ketjutalot	24440		572081	Kerros-, luhti-, rivi- ja ketjutalot	43	13	

LIITE 20 Kaukolämpö- ja rakennuskanta-aineistojen määritetty vuoden 2012 kaukolämmön ominaiskulu-
tus T3 -alueen toimitilarakennuksissa

Toimitilat	Vuosienergia [MWh]	Vuosienergian sisällytetyt kaukolämpöaineiston luokat (Rakennusluokitus 1994)	Kerrosala [m ²]	Kerrosalaan sisällytetyt rakennuskanta-aineiston luokat (Rakennusluokitus 1994)	[kWh/(m ² a)]	[kWh/(m ³ a)]
Toimisto- ja opetusrakennukset	138183	Toimistorakennukset, Korkeakoulurakennukset, Tutkimuslaitosrakennukset, Peruskoulut, lukiot ja muut, Ammatilliset oppilaitokset	941243	Toimistorakennukset, Korkeakoulurakennukset, Tutkimuslaitosrakennukset, Peruskoulut, lukiot ja muut, Ammatilliset oppilaitokset	147	27
Liikerakennukset	119918	Asuntolat, Hotellit, Liike- ja tav. talot, kauppakeskukset, Myymälähallit, Myymälärakennukset, Ravintolat, Muut liik. Rakennukset	75082	Muut majoitusliikerakennukset, Asuntolat, vanhusten palvelut, Myymälärakennukset, Myymälähallit, Liike- ja tavaratalot, kauppa, Ravintolat, ruokalait ja baarit, Hotellit, motellit, matkustajak.	1597	347

LIITE 21 Kaukolämpö- ja rakennuskanta-aineistojen määritetty vuoden 2012 kaukolämmön ominaiskulu-
tus T3 -alueen asuinrakennuksissa

Asuinrakennukset	Vuosienergia [MWh]	Vuosienergiaan sisällytetyt kaukolämpöaineiston luokat (Rakennusluokitus 1994)		Kerrosala [m ²]	Kerrosalaan sisällytetyt rakennuskanta- aineiston luokat (Rakennusluokitus 1994)	[kWh/(m ² a)]	[kWh/(m ³ a)]
		Yhden asunnon talot, Kahden asunnon talot	Kahden asunnon talot				
Ok- ja paritalot	189056	Yhden asunnon talot, Kahden asunnon talot		12793	Yhden asunnon talot, Kahden asunnon talot	14778	4247
Kerros-, luhti-, rivi- ja ketjutilat	1106984	Kerros-, luhti-, rivi- ja ketjutilat		487184	Kerros-, luhti-, rivi- ja ketjutilat	2272	668

LIITE 22 T3 –alueen vireillä olevien asemakaavojen mahdollistamat kerrosalat osa-alueittain

OTANIEMI

Karttanumero	Asuinkerrosala kem ²	Toimitilakerrosala kem ²	Arvio kaavan hyväksymisvuodesta
32		24000	2013
15, 24	89000	20000	2016
23		20000	ei kirjattu / tiedossa
Yhteensä	89000	64000	

KEILANIEMI

Karttanumero	Asuinkerrosala kem ²	Toimitilakerrosala kem ²	Arvio kaavan hyväksymisvuodesta
1	83900	6500	2012
8, 16	1000	14000	ei kirjattu / tiedossa
Yhteensä	84900	20500	

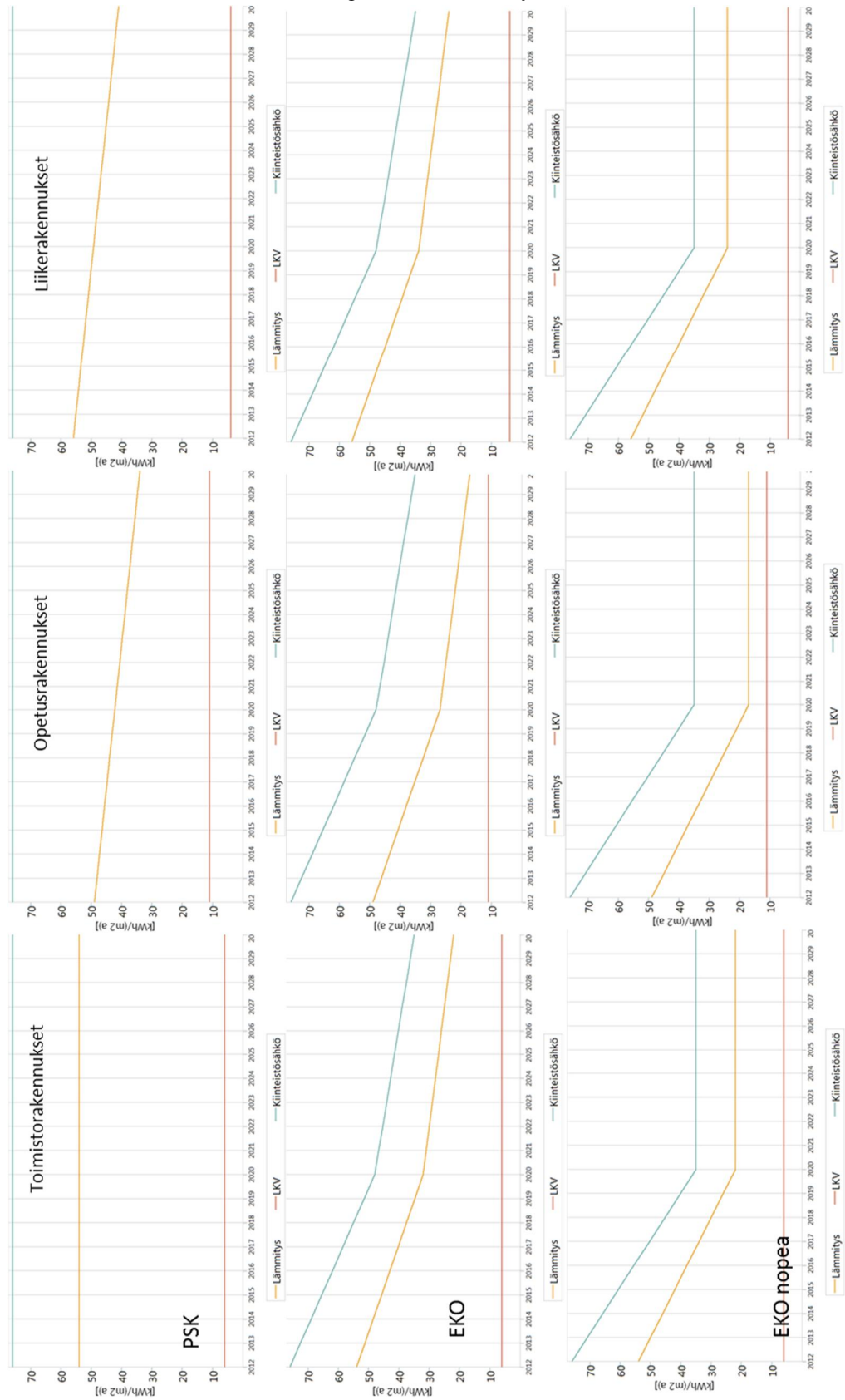
TAPIOLAN KESKUS

Karttanumero	Asuinkerrosala kem ²	Toimitilakerrosala kem ²	Arvio kaavan hyväksymisvuodesta
2	17000	50900	2012
3, 18, 31	63300	12100	2013
4, 5, 6, 34	87000	10000	2015
9, 10, 13, 17	112000	20000	2016
7, 19, 30, 39	21900	49300	ei kirjattu / tiedossa
Yhteensä	301200	142300	

LIITE 23 Skenaariokehikko

<i>PKS, aurinkolämpö- ja sähkö ja EKO -skenaariot</i>		
Tarkasteltava tekijä	2013 - 2020	2021 - 2030
<i>Maankäyttö</i>		
Asuinrakennukset	Asuinrakentaminen kohdistuu ainoastaan kerrostaloihin ja suunnitelmien asuin-kerrosalasta toteutuu 211156 k-m ² .	Asuin-kerrostaloihin sisältyvää kerrosala toteutuu lisää 263944 k-m ²
Palvelurakennukset(Toimitilat)	Toimitilakerrosalasta toteutuu 100800 k-m ² . Kerrosalasta on oletettu 51 % sisältyvän toimistorakennuksiin, 9 % liikerakennuksiin ja 40 % opetusrakennuksiin.	Toimitilakerrosalaa toteutuu lisää 126000 k-m ² .
<i>Rakennusten ostoenergiatarve</i>		
<i>Uudisrakennukset</i> Asuinrakennukset ja toimitilat PSK	Lämmön ominaiskulutus kehittyy taulukossa 10 esitetystä RakM 2012 tasosta lineaarisesti lähteessä [75] esitettyyn tavoitetasoon vuonna 2030. Ominais sähkökulutus on taulukossa (Taulukko 15) esitetyn RakM 2012 mukainen.	Ominaislämmönkulutus on tavoitetasolla 45 (kWh/m ² a). [75] Ominais sähkökulutus on taulukossa (Taulukko 15) esitetyn RakM 2012 mukainen.
EKO		Lämmön ominaiskulutus kehittyy taulukossa (Taulukko 15) mukaisesti RakM 2012 tasosta lineaarisesti passiivien- giatasoon vuonna 2030.
EKO nopea	Lämmön ominaiskulutus kehittyy taulukossa (Taulukko 15)mukaisesti RakM 2012 tasosta lineaarisesti passiivien- giatasoon vuonna 2020.	
<i>Rakennuskanta 2012</i> Asuinrakennukset ja toimitilat	Vanhan kannan tulevaisuuden energian- tarpeen arvioinnissa on lähtökohtana nykyiset kaukolämmön ja sähkö vuo- sienergiat. Rakennuskannan ominaislämmönkulutus alenee prosentin vuodessa. [75]	Rakennuskannan ominaislämmönkulutus alenee prosentin vuodessa. [75]
<i>Paikallinen energiantuotanto</i>		
Aurinkolämpö	Kiinteistökohtaisia aurinkolämpöjärjestelmiä asennetaan 1 prosenttiin uudisrakennuksista [35]. Järjestelmät on mitoitettu tuottamaan puolet vuotuisesta <i>RakMk D3/2012</i> mukaisesti määritetystä lämpimänkäyttöveden energian nettotarpeesta[.].	Kiinteistökohtaisia aurinkolämpöjärjestelmiä asennetaan 10 prosenttiin [35] uudiskohteista edellä mainitulla mitoitusperiaatteella.
Aurinkosähkö	2012 rakennuskannan aurinkosähköpotentiaali on noin 16 prosenttia alueen vuotuisesta sähkökulutuksesta [74]. Aurinkosähkö vähentää ostosähkön kulutusta prosentilla potentiaalista vuoden 2012 rakennuskannassa.	Aurinkosähkö vähentää ostosähkön kulutusta kymmenellä prosentilla 16 % potentiaalista vuoden 2012 rakennuskannassa.

LIITE 24 Toimitilarakennusten ominaisenergiakulutuksen kehitys eri skenaarioissa



LIITE 25 Asuinrakennusten ominaisenergiakulutuksen kehitys eri skenaarioissa

